MAX VERWORN

PHYSIOLOGISCHES PRAKTIKUM

DRITTE AUFLAGE



JENA, GUSTAV FISCHER







PHYSIOLOGISCHES PRAKTIKUM

FÜR MEDIZINER

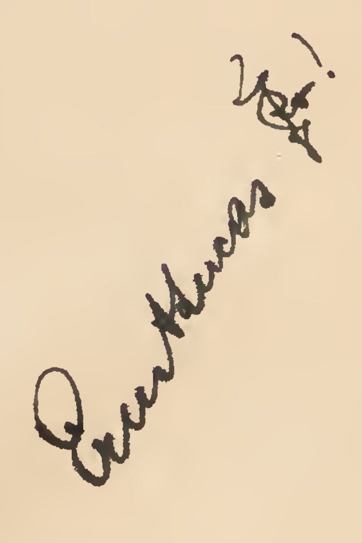
VON

MAX VERWORN

PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BONN

DRITTE AUFLAGE

MIT 141 ABBILDUNGEN IM TEXT





JENA

VERLAG VON GUSTAV FISCHER

1916


LIBRARY

Vorwort zur ersten Auflage.

Indem ich das vorliegende Buch dem praktischen Gebrauch für den physiologischen Unterricht übergebe, fühle ich das Bedürfnis, ihm einige Geleitworte mit auf den Weg zu geben.

Nachdem durch die Bestimmungen vom 28. Mai 1901 die Teilnahme an einem physiologischen Praktikum für alle Mediziner, welche die vorgeschriebenen Examina ablegen wollen, obligatorisch geworden ist, erscheint es nötig, den Stoff für dieses Praktikum aus allen einzelnen Gebieten der Physiologie so auszuwählen und zusammenzufassen, daß er geeignet ist, dem Mediziner an der Hand einfacher und in kurzer Zeit wirklich ausführbarer Experimente einerseits einen selbständigen Einblick in die verschiedenen Gebiete der Physiologie, andererseits eine für ihn so notwendige Übung in der Handhabung von Instrumenten, Apparaten und Methoden der verschiedensten Art zu gewähren. Die Leitung von physiologischen Übungskursen, die ich seit 16 Jahren an den Universitäten Jena und Göttingen teils jedes Semester, teils jedes Jahr 2×2 stündig in der Woche abgehalten habe, hat mir Gelegenheit gegeben, diese Auswahl des Stoffes nach den praktischen Erfahrungen von Jahr zu Jahr zu vervollkommenen und die Punkte in den einzelnen Experimenten, die für die glatte Ausführung derselben besonders wesentlich sind, immer schärfer und klarer herauszuarbeiten. Auf diese Weise ist das vorliegende Buch entstanden. Es ist das Ergebnis zahlloser Beobachtungen, die ich im Laufe der Jahre bei meinen praktischen Kursen gemacht habe.

Bei dem ungeheueren Material, daß die Physiologie an Experimenten auf ihren einzelnen Gebieten liefern kann, wird vermutlich jeder Lehrer für das Praktikum, je nach seinen speziellen Arbeitsinteressen, eine sehr verschiedenartige Auswahl des Unterrichtsstoffes treffen. Ich habe mich bemüht, inhaltlich kein Gebiet der Physiologie, auch meine eigenen Arbeitsgebiete nicht, zu bevorzugen, und habe die chemische, wie die physikalische, wie die operative Seite möglichst

gleichmäßig behandelt. Dabei bin ich von dem Gesichtspunkte ausgegangen, daß der physiologische Unterricht nicht den Zweck hat, Physiologen auszubilden, sondern Ärzte. Infolgedessen habe ich alle Experimente, die nicht geeignet sind, das allgemeine physiologische Denken des Arztes zu schulen, auch wenn sie in dem früheren physiologischen Unterricht einen besonders breiten Raum eingenommen haben, möglichst beiseite gelassen. Die Auswahl des Stoffes ist ferner eine derartige, daß nur Experimente Aufnahme gefunden haben, die von den Praktikanten nach kurzer Anleitung vollkommen selbstständig ausgeführt werden können und in meinen Übungskursen unzählige Male ausgeführt worden sind, denn ich erkenne den Wert des Praktikums nur dann an, wenn jeder Praktikant alles selbstständig ausführt und andauernd beschäftigt ist. Führt man, wie das in manchen Übungskursen Sitte ist, die Einrichtung ein, daß aus der Zahl der Teilnehmer wie in den Kliniken einer zum Praktizieren vorgerufen wird, während die anderen zusehen, so sinkt das Praktikum zu einem einfachen Demonstrationskursus herab und verliert den hohen Wert, den es bei zweckmäßiger Handhabung für die Ausbildung des Arztes haben kann. Versuche mit dem Spiegelgalvanometer oder dem Rheotom usw. fallen daher vollständig weg. Sie können nicht von einer größeren Teilnehmerzahl ausgeführt werden. Dennoch habe ich einige Versuche aufgenommen, die etwas umfangreicher und schwieriger auszuführen sind, wie z. B. die graphische Verzeichnung der Vaguswirkung auf den Blutdruck oder die Registrierung der Muskelzuckung mlt dem du Bois-Reymondschen Federmyographion. Diese und einige andere Versuche, die den Studenten an die Umsicht in der Handhabung komplizierterer Anordnungen und sinnreich ausgedachter Methoden gewöhnen sollen, können nicht von einem einzelnen ausgeführt werden, sondern sind Gruppenversuche, an denen vier oder fünf Teilnehmer mitwirken, aber stets so, daß jeder an der Ausführung des ganzen Versuches von Anfang bis zu Ende beteiligt ist.

Das im vorliegenden Buche enthaltene Material bietet den Stoff für einen halbjährigen wöchentlich 2×2- bis 2×3 stündigen Kursus. Je nachdem man eine größere oder kleinere Teilnehmerzahl zu berücksichtigen, je nachdem man ein langes Winter- oder ein kurzes Sommer-Semester zur Verfügung hat, wird man den Umfang des Materials etwas variieren müssen. Mehr als 20 Teilnehmer sollten zu einem Kurse nie zugelassen werden. Bei höheren Teilnehmerzahlen muß das Praktikum in entsprechende Parallelkurse zerlegt werden.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich meinen Standpunkt betonen, daß mit einem 2×2- oder 2×3 stündigen „kleinen Praktikum" die praktische Ausbildung des Mediziners in der Physiologie unmöglich

beendigt sein kann. Die Physiologie bildet mindestens in ebenso hohem Grade die Grundlage der Medizin wie die Anatomie, mit dem Unterschiede, daß die Beschäftigung mit der Physiologie wegen der Mannigfaltigkeit des Gebietes und der großen Summe von Vorkenntnissen viel mehr Zeit beansprucht, als die Beschäftigung mit der Anatomie. Das „kleine Praktikum" kann daher nur als erste Anleitung zur praktischen Beschäftigung mit der Physiologie dienen. Wer ein Experiment nur einmal in seinem Leben gemacht hat, kennt es meistens noch nicht. Es ist daher unbedingt notwendig, daß der Mediziner, der im 4. Semester das „kleine Praktikum" unter andauernder Anleitung durchgemacht hat, im 5. Semester das physiologische Laboratorium nach Art des Präparierbodens besucht, um alle Experimente, die er im „kleinen Praktikum" unter Anleitung ausgeführt hat, ohne Anleitung und nur unter entsprechender Kontrolle noch einmal selbständig durchzumachen und durch daran anschließende Experimente fortzusetzen und zu erweitern. Das muß teils in der chemischen, teils in der speziell physiologischen Abteilung des physiologischen Instituts geschehen, wobei ich mir den Betrieb ganz so denke wie auf dem Seziersaal. Nur bei einer solchen Handhabung des Unterrichts kann die praktische Beschäftigung mit der Physiologie dem künftigen Arzt einen dauernden und wirklichen Nutzen gewähren. Ich habe mich bemüht, zu diesem Zwecke die Beschreibung der Experimente im vorliegenden Buche so zu gestalten, daß es auch ohne beständige Anleitung dem Studierenden möglich ist, allein nach dem Buche die Versuche auszuführen.

Was ich bei der Abhaltung des physiologischen Praktikums zur Erläuterung der Versuche vor jedem Versuch zu sagen pflege, habe ich auch im vorliegenden Buche in Form von theoretischen Vorbemerkungen mit kleinem Druck jedem Abschnitt vorausgeschickt, denn es erscheint mir unbedingt notwendig zum Verständnis der Versuche, an die theoretischen Grundlagen derselben zu erinnern. Es braucht aber wohl nicht erst betont zu werden, daß diese kurzen und skizzenhaften Vorbemerkungen, die nur für jemanden bestimmt sind, der bereits physiologische Vorlesungen gehört hat, niemals die Benutzung eines ausführlichen Lehrbuches ersetzen können.

Die beigefügten Formeln für chemische Verbindungen sind nicht zum Auswendiglernen für den Studierenden bestimmt, sondern wie alle chemischen Formeln lediglich zur prägnanten Veranschaulichung des chemischen Baues eines Körpers oder des chemischen Vorganges.

Die wichtigsten und immer wieder zur Verwendung kommenden physiologischen Apparate habe ich, soweit sie eine eingehendere Besprechung erforderten, in einem eigenen Kapital am Schluß des Buches

zusammengestellt, um nicht durch ihre Beschreibung an Ort und Stelle die Darstellung des Versuches ungebührlich in die Länge zu ziehen. Selbstverständlich wird jeder Lehrer seine spezielle Form des einzelnen Apparates, eines Kymographions oder Muskelhalters, der Elektroden oder Instrumente usw. bevorzugen. In dieser Beziehung muß die größte Freiheit herrschen. Jedes Unifikationsbestreben bezüglich der Methodik in der Physiologie, soweit es sich nicht bloß auf Maßsysteme, sondern auf Apparate erstreckt, halte ich für ein totgeborenes Kind, über das die lebendige Wissenschaft hinwegschreitet.

Was schließlich die Abbildungen des Buches betrifft, so sind dieselben fast durchgehends neu. Nur einige wenige sind, zum Teil mit einigen zweckmäßig erscheinenden Änderungen, bekannten Lehrbüchern entnommen. Bei der Herstellung der Abbildungen habe ich, entsprechend der Kreideskizze an der Wandtafel, der einfachen, als Zinkätzung reproduzierten Umrißzeichnung vor der Photographie und Autotypie den Vorzug gegeben, wie ich hoffe zum Vorteil der Klarheit und Übersichtlichkeit.

Schließlich möchte ich meinen beiden Assistenten, den Herren Privatdozenten Dr. Pütter und Dr. Fröhlich, meinen herzlichsten Dank aussprechen für die liebenswürdige Mühe, mit der sie mich bei der Herausgabe des Buches unterstützt haben. Beide Herren haben zum Zwecke meiner Niederschrift noch einmal sämtliche Experimente vor meinen Augen ausgeführt und mir in freundlicher Weise die zeitraubende Arbeit des Korrekturlesens erleichtert.

Mit dem Wunsche, daß das Buch dem Studierenden soviel Nutzen bringen möchte, wie der Mühe, die darin verborgen liegt, entspricht, übergebe ich es seinem Gebrauch.

Göttingen, physiologisches Laboratorium, im Juni 1907.

Max Verworn.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Die zweite Auflage hat keine wesentliche Änderung in der Auswahl des Stoffes erfahren. Da sich das Buch in den mehr als 4 Jahren, die seit seinem ersten Erscheinen verflossen sind, in der Praxis des Unterrichts bewährt hat, so konnte ich mich bei der Neuherausgabe auf einige Verbesserungen und die Hinzufügung einiger praktischer Winke für den Studierenden beschränken und hoffe, daß das Buch sich auch in dieser neuen Auflage als brauchbar erweisen wird.

Meinen beiden Mitarbeitern, den Herren Prof. Dr. SCHÖNDORFF und Dr. LIPSCHÜTZ, die mich in freundlichster Weise bei der Arbeit des Korrekturlesens unterstützt haben, möchte ich auch an dieser Stelle meinen wärmsten Dank aussprechen.

Bonn, physiologisches Institut, im Januar 1912.

Max Verworn.

Vorwort zur dritten Auflage.

Die dritte Auflage des „Physiologischen Praktikums für Mediziner“ hat keine wesentlichen Veränderungen erfahren. Dagegen ist auch diesmal wieder eine Reihe kleiner Verbesserungen vorgenommen worden, die sich bei dauerndem Gebrauch des Buches im Unterricht als zweckmäßig erwiesen haben. So sind bei einzelnen Experimenten manche, an sich unscheinbare Abänderungen getroffen worden, die aber den glatten Ablauf des Experiments besser gewährleisten und vor allem auch das eigene selbständige Experimentieren nach dem Buche in einzelnen Punkten erleichtern. Im übrigen wurde der Charakter des Buches strenge gewahrt, da es durch die jahrelange Erfahrung beim praktischen Gebrauch sich in der vorliegenden Form als durchaus nützlich erwiesen hat. Angesichts dieser günstigen Erfahrungen bei der dauernden Benutzung des Buches konnten mich auch die Bemängelungen nicht beirren, die der amerikanische Physiologe FREDERIC S. LEE in einer noch vor dem Kriege geschriebenen Kritik (Science, 20. Sept. 1912, p. 375) nicht sowohl gegen das vorliegende Buch als vielmehr gegen die ganze deutsche Methode des praktischen Unterrichts in der Physiologie vorbringt. Sein Haupt-

vorwurf ist „the elaborateness of the directions for laboratory work, something with which we in America are not familiar.“ Diese „elaborateness of the directions“ war aber gerade mein Ziel gewesen, das ich in dem Buche angestrebt hatte und das mir im Laufe langer Jahre praktischen Unterrichts in der Physiologie als ein besonderes Bedürfnis erschienen war. Allerdings habe ich das Buch nicht für amerikanische, sondern für deutsche Mediziner geschrieben und der Bedingungskomplex, unter dem sich der physiologische Unterricht in Amerika entwickelt hat und heute vollzieht, ist, soviel meine eigenen Beobachtungen in Amerika mir gezeigt haben, ein wesentlich anderer, als der, unter dem er sich in Deutschland herausgebildet hat. Die Vorwürfe, die LEE dem deutschen System macht, haben mich aber nicht überzeugen können, daß das amerikanische System der Ausbildung von Medizinern, wenigstens soweit die Physiologie in Betracht kommt, für unsere deutschen Studenten besser wäre, als das, welches sich in Deutschland seit langen Jahren allmählich entwickelt und in der Studienordnung von 1901 seinen offiziellen Ausdruck gefunden hat. Deshalb habe ich mich auch nicht entschließen können, den Charakter des Buches in dem Sinne LEEs zu ändern, d. h. das wesentliche Ziel, das es verfolgt, aufzugeben.

Bonn, physiologisches Institut, im September 1916.

Max Verworn.

Inhalt.

I. Allgemeine Physiologie.

A. Der chemische Aufbau der lebendigen Substanz.

Ein elementarer Unterschied zwischen Organismen und anorganischen Systemen besteht nicht. Dieselben chemischen Elemente, welche die lebendige Substanz des Organismenkörpers zusammensetzen, finden sich auch in der anorganischen Natur. Dagegen unterscheiden sich die Organismen von den anorganischen Körpern in durchgreifender Weise durch die chemischen Verbindungen, aus denen sie aufgebaut sind. Die drei großen Gruppen der Eiweißkörper, Kohlehydrate und Fette finden sich in der Natur nur als Bestandteile oder Produkte der Organismen, aber nirgends als Bestandteile oder Produkte der leblosen Körperwelt. Sie sind die wichtigsten organischen Verbindungen der Zelle. Diese drei Gruppen von organischen Verbindungen bilden zugleich die wichtigste Nahrung der Tiere. Kein Tier kann ohne organische Nahrung existieren. Darin liegt der Unterschied der Tiere gegenüber den grünen Pflanzen, die ihre lebendige Substanz aus einfachen anorganischen Stoffen aufzubauen vermögen. Aber die Bedeutung der drei großen Gruppen von organischen Verbindungen ist verschieden. Die Stoffe der Eiweißgruppe nehmen eine dominierende Stellung ein. Sie sind die kompliziertesten Verbindungen, sie enthalten im Gegensatz zu den Kohlehydraten und Fetten den für das organische Leben unentbehrlichen Stickstoff, und sie allein oder mindestens ihre wesentlichen organischen Konstituenten bilden die allgemeine und unerläßliche Nahrung für jedes Tier. Man kann sie daher als primäre organische Nahrungsstoffe den sekundären Nahrungsstoffen der Kohlehydrate und Fette gegenüberstellen. Neben den organischen finden sich aber auch zahlreiche anorganische Verbindungen in der lebendigen Substanz, und zwar Wasser und Salze, einfache Verbindungen, die wir auch in der leblosen Natur überall antreffen.

1. Die Eiweißkörper.

Theoretische Vorbemerkungen. Die Eiweißkörper enthalten allgemein die Elemente C, H, O, N in ungeheurer Atomenzahl und in manchen Fällen auch noch S, P und Fe. Ihre Moleküle sind daher außerordentlich groß. Infolgedessen diffundieren sie nicht durch Membranen und sind in ihrem stereochemischen Aufbau noch ziemlich unbekannt. Nur das Vorhandensein bestimmter Atomgruppen im Eiweißmolekül, z. B. des Benzolkernes, einer Kohlehydratgruppe, zahlreicher Aminosäuren usw., kann aus gewissen Reaktionen und Spaltungsprodukten der Eiweißkörper geschlossen werden. Im übrigen sind die chemischen Vorgänge bei den meisten empirisch gefundenen Proben, die zum Eiweißnachweis benutzt werden, nicht näher bekannt. Man kann die chemischen Reaktionen, die zur Erkennung der Eiweißkörper dienen, einteilen in:

Fällungsproben, Farbenproben und Konstitutionsproben. Ferner dient zur Erkennung die Koagulation der meisten Eiweißkörper beim Erwärmen, besonders in schwach saurer Lösung bei Anwesenheit von geringen Mengen neutraler Salze.

Zur Differenzierung der beiden Gruppen von nativen, d. h. natürlich vorkommenden einfachen Eiweißkörpern, der Albumine und Globuline, dient ihr verschiedenes Löslichkeitsvermögen in wässerigen Lösungen. Die Albumine sind in reinem Wasser löslich, die Globuline nur, wenn das Wasser geringe Mengen von neutralen Salzen enthält Entzieht man einer Eiweißlösung, die Albumine und Globuline enthält, das Salz durch Dialyse, so fallen die Globuline aus, die Albumine bleiben in Lösung. Dasselbe geschieht, wenn man die Eiweißlösung über einen gewissen Grad mit Salzen anreichert (Aussalzen). Ein Salz, mit dem man bei genügender Konzentration fast alle Eiweißkörper aussalzen kann, ist das Ammoniumsulfat.

Durch Behandlung mit Wasserdämpfen von hoher Spannung oder durch Einwirkung von Verdauungsenzymen (Pepsin, Trypsin), wird das Eiweißmolekül hydrolytisch, d. h. unter Wasseraufnahme, gespalten in einfachere Moleküle, die Albumosen und Peptone, die noch Eiweißeigenschaften haben, in manchen Punkten aber von den nativen Eiweißkörpern verschieden sind.

Für die Einteilung der Körper aus der Eiweißgruppe kann folgendes Schema dienen, das mit den einfachsten von Emil Fischer künstlich hergestellten Stoffen beginnt und zu den komplizierteren und kompliziertesten fortschreitet:

1. Synthetisch hergestellte Peptide:
   Dipeptide, Polypeptide.
2. Hydrolytisch gespaltene Eiweißkörper:
   Albumosen, Peptone.
3. Native Eiweißkörper (Proteïne):
   Albumine, Globuline.
4. Eiweißverbindungen (Proteïde):
   Acidalbumine, Alkalialbuminate, Metallalbuminate, Hämoglobine, Nukleoproteïde, Pseudonukleoproteïde, Glykoproteïde.
5. Albuminoïde:
   Skelettine, Amyloidsubstanz, Enzyme(?).

Herstellung einer Eiweißlösung. Da die Eiweißlösungen nur langsam filtrieren, ist es zweckmäßig, schon eine Portion Eiweißlösung vor dem Praktikum zu bereiten. Zur Herstellung der Eiweißlösung ist erforderlich: eine Reibschale, ein Kolierrahmen mit Koliertuch, eine flache Schale und ein Ei. Das Ei wird am Rande der Reibschale angeschlagen und dann in senkrechter (!) Stellung über der Reibschale in zwei Hälften auseinander gebrochen, so daß das Eiweiß in die Reibschale fließt, das Eigelb aber in der unteren Eischalenhälfte zurückbleibt. Das Eiweiß, das eine zusammenhängende Masse bildet, wird nunmehr in der Reibschale längere Zeit gut mit dem Stempel verrieben, wobei der Stempel lose und schräg aufzusetzen und immer wieder abzuheben ist, so daß die schlüpfrige Masse nicht

immer vor ihm ausweichen kann. Wenn die Masse gut zerrieben ist (nach etwa 5 Minuten), werden zu je einem Eiweiß 150 ccm physiologischer Kochsalzlösung (0,6—0,8 Proz.) hinzugesetzt. Die Masse wird noch einmal gut verrieben, dann auf das vorher angefeuchtete Koliertuch gegossen und in der flachen Schale aufgefangen. Läuft die Flüssigkeit zu langsam durch, so wird sie auf zwei Koliertücher verteilt. Die aufgefangene Eiweißlösung wird in einem ERLENMEYERschen Kolben gesammelt.

Eiweißproben. Für die Reaktionen im Reagenzglas gilt als Regel, daß immer ca. 5 ccm (etwa ein Fingerglied) Flüssigkeit zur Reaktion benutzt werden.

a) *Fällungsproben:*

Mineralsäuren fällen die Eiweißkörper aus ihren Lösungen. Beispiele: 1. Ein paar Tropfen konzentrierter H_2SO_4 zu 5 ccm Eiweißlösung gesetzt, geben eine weiße Trübung. 2. HELLERsche Ringprobe: In ein trockenes Reagenzglas werden 5 ccm konzentrierte HNO_3 getan, dann wird eine kleine Probe der Eiweißlösung in einem anderen Reagenzglas ca. 10mal mit physiologischer Kochsalzlösung verdünnt und diese verdünnte Eiweißlösung ganz vorsichtig unter Schräghalten beider Reagenzgläser über die Salpetersäure geschichtet. Es entsteht an der Grenze beider Flüssigkeiten ein weißer Ring. Die Probe ist außerordentlich empfindlich und kann für den Nachweis sehr geringer Eiweißmengen benutzt werden. 3. Einige Tropfen Phosphorwolframsäure, zu einer Eiweißlösung gesetzt, geben eine weiße Fällung. (Es gibt zahlreiche Phosphorwolframsäuren, die sich durch die verschiedene Zahl der Phosphorsäure-H_3PO_4- und Wolframsäure-WO_3-Moleküle unterscheiden.)

Metallsalze fällen die Eiweißkörper ebenfalls. Beispiele: 1. Verdünnte $CuSO_4$-Lösung, tropfenweise zur Eiweißlösung gesetzt, gibt eine bläulichweiße Fällung. $CuSO_4$-Lösungen von starker Konzentration bringen die Fällung wieder zum Verschwinden. 2. Einige Tropfen $HgCl_2$-Lösung geben einen weißen Niederschlag. (In einer salzfreien Eiweißlösung ist die Sublimatfällung stärker.)

Alkohol absolutus, reichlich zur Eiweißlösung gesetzt, gibt eine weiße Trübung.

Pikrinsäure $C_6H_2(NO_2)_3OH$ (Trinitrophenol), wenige Tropfen liefern einen gelben Niederschlag.)

Gerbsäure (frisch hergestellte Lösung), wenige Tropfen geben einen weißen Niederschlag. (Gerbsäuren sind Verbindungen von Gallussäure $(HO)_3 \cdot C_6H_2COOH + H_2O$ (Trioxybenzoësäure) mit Phloroglucin $C_6H_3(OH)_3$ (Trioxybenzol) oder Kohlehydraten.)

Essigsäure CH_3COOH und Ferrocyankalium $Fe(CN)_6K_4$ geben einen weißgelblichen Niederschlag. Man setzt zu der Eiweißlösung erst einige Tropfen Essigsäure, dann einige Tropfen Ferrocyankaliumlösung. Dieselbe Probe kann mit der 10fach verdünnten Eiweißlösung gemacht werden.

b) *Farbenproben:*

Xanthoproteïnprobe: Die Probe kann in doppelter Weise ausgeführt werden. 1. Mit einer geringen Menge konzentrierter HNO_3: Man setzt mehrere Tropfen konzentrierter HNO_3 zur Eiweißlösung und erhält eine Fällung, weil Mineralsäuren die Eiweißkörper fällen. Beim Kochen erfolgt Koagulation des Niederschlages, der eine schwefelgelbe Farbe annimmt. Bei Zusatz von Ammoniak bis zur Überneutralisation (Vorsicht wegen stürmischer Reaktion!) färbt sich das Koagulum orangegelb. 2. Kann die Probe mit reichlichem Zusatz von HNO_3 gemacht werden. In diesem Falle löst sich beim Kochen der Niederschlag wieder auf und die klare Flüssigkeit färbt sich gelb. Beim Überneutralisieren mit Ammoniak (Vorsicht, Ammoniak nicht zu schnell in größerer Menge zusetzen!) färbt sich die klare Flüssigkeit orangegelb.

Biuretprobe. 5 ccm Eiweißlösung werden durch Zusatz mehrerer Tropfen von Kali- oder Natronlauge alkalisch gemacht. In einem anderen Reagenzglas wird eine $CuSO_4$-Lösung bis zu schwacher Farbe verdünnt. Von dieser Lösung werden einige Tropfen unter Umschütteln zur alkalischen Eiweißlösung gesetzt. Es entsteht eine klare violette Farbe. Es darf nicht zu viel $CuSO_4$ zugesetzt werden, weil sonst das entstehende blaue Kupferoxydhydrat mit seiner Farbe die violette Färbung vollständig verdeckt. (Probe, um den Fehler kennen zu lernen, mit zu viel $CuSO_4$ machen.) Die Biuretprobe hat ihren Namen vom Biuret $(NH_2)_2NH(CO)_2$, einem Derivat des Harnstoffes $(NH_2)_2CO$, das aus Zusammentritt von 2 Molekülen Harnstoff unter Ammoniakabspaltung entsteht:

$$\text{Harnstoff } O=C\begin{matrix}\diagup NH_2\\ \diagdown NH_2\end{matrix} + \text{Harnstoff } O=C\begin{matrix}\diagup NH_2\\ \diagdown NH_2\end{matrix} = \text{Biuret } \begin{matrix} O=C\diagup NH_2 \\ \quad\quad > NH \\ O=C\diagdown NH_2\end{matrix} + \text{Ammoniak } NH_3$$

Zum Vergleich ist die Biuretprobe mit Biuret auszuführen: Eine Messerspitze voll Harnstoff wird in einem trockenen Reagenzglas über den Siedepunkt erhitzt. Dabei entsteht Biuret, und Ammoniakdämpfe entweichen (Geruch prüfen!). Das Erhitzen darf nicht allzu lange ausgedehnt werden, da sonst die schwer lösliche Cyanursäure entsteht.

Zu der Schmelze werden 5 ccm destillierten Wassers gesetzt, und dann wird die Probe ausgeführt wie oben.

Adamkiewiczsche Probe. Zu 5 ccm der Eiweißlösung werden zuerst wenige Tropfen Eisessig, dann reichlich konzentrierte H_2SO_4 zugesetzt. An der Grenze der unten stehenden H_2SO_4 und der oben stehenden Eiweißlösung entsteht ein rötlicher Ring. Beim Umschütteln und Mischen färbt sich die ganze Flüssigkeit tiefrot. Es ist für die Ausführung dieser Probe zweckmäßig, eine etwas stärkere Eiweißlösung zu benutzen, da sonst die Färbung nur schwach rötlichbraun wird.

c) *Konstitutionsproben:*

Millonsche Probe. (Millonsches Reagens ist vorher fertigzustellen. Es ist Merkurinitrat mit etwas salpetriger Säure: 1 Gewichtsteil Hg wird in 2 Gewichtsteilen HNO_3 unter gelindem Erwärmen gelöst. Dann wird 1 Volumenteil der Lösung mit 2 Volumenteilen destillierten Wassers verdünnt. Das Ganze bleibt einige Stunden stehen und wird dann abgegossen.) Zu 5 ccm der Eiweißlösung werden mehrere Tropfen Millonschen Reagens zugesetzt. Es tritt eine weiße Fällung ein, weil Schwermetallsalze und Mineralsäuren die Eiweißkörper fällen. Dann wird gekocht. Dabei entsteht ein Koagulum, das sich allmählich rosenrot färbt.

Die Millonsche Probe geben alle Benzolverbindungen, bei denen H-Atome am Benzolkern durch OH-Gruppen ersetzt sind. Die Probe beweist also die Anwesenheit eines Benzolkernes im Eiweißmolekül. Zum Vergleich wird die Millonsche Probe mit dem einfachsten Körper gemacht, der die obige Bedingung erfüllt, dem Phenol:

```
        H
        |
   H    C    H
    \ // \  /
     C     C
     |     ||
     C     C
    / \\  / \
   H    C    H
        |
        OH
```

Eine 1 proz. Phenollösung wird mit einigen Tropfen Millonschen Reagens schwach erwärmt. Es entsteht in der klaren Flüssigkeit eine tiefrote Farbe.

Unter den Spaltungsprodukten der Eiweißkörper, die bei der Verdauung entstehen, geben die Millonsche Probe: die Albumosen, die Peptone und endlich das Tyrosin. Mit dem Tyrosin wird also

schließlich die aromatische Gruppe aus dem Eiweißmolekül abgespalten. Das Tyrosin ist eine Oxyphenylaminoproprionsäure.

$HO \cdot C_6H_4 \cdot CH_2 \cdot CHNH_2 \cdot COOH$ Tyrosin

```
       OH
       C
     //  \
   HC      CH
   |       |
   HC      CH
     \\  /
       C
       CH2 · CHNH2 · COOH
```

Die MILLONsche Probe wird mit Tyrosin ausgeführt. Ein Kristallplättchen Tyrosin wird in 5 ccm destillierten Wassers unter Erwärmen gelöst. Dann wird die Probe wie oben gemacht. Die klare Flüssigkeit nimmt eine hellrote Farbe an.

Schwefelbleiprobe. Zum Nachweis des Schwefels im Eiweißmolekül dient die Bildung von Schwefelblei. 5 ccm Eiweißlösung werden mit einigen Tropfen Kali- oder Natronlauge alkalisch gemacht. Dann wird 1 (!) Tropfen Bleiacetatlösung $C_2H_3O_2 \cdot Pb \cdot OH$ hinzugefügt. Es entsteht ein weißer Niederschlag (weil Metallsalz). Beim Kochen wird durch die Alkalilauge aus dem Eiweiß Schwefel abgespalten, der mit dem Bleisalz schwarzes Schwefelblei (Bleisulfid Pb 5) liefert. Die Flüssigkeit färbt sich unter Lösung des weißen Niederschlages schwarzbraun. Hat man zu viel Bleiacetat hinzugesetzt, so löst sich der Niederschlag nicht ganz und verdeckt die schwarzbraune Farbe. Die Flüssigkeit bekommt dann das Aussehen von hellem Milchkaffee.

Trennung von Albuminen und Globulinen. Es werden zwei Eiweißlösungen hergestellt, jede von einem Ei. Die eine Lösung A wird, wie oben, mit 150 ccm physiologischer Kochsalzlösung angemacht und nach dem Kolieren durchfiltriert (Filtrierpapier auf dem Trichter vorher anfeuchten! Lösung auf mehrere Trichter verteilen, Filter öfter erneuern, damit die Lösung schneller filtriert.)

Die andere Lösung B wird, statt mit Kochsalzlösung, mit 150 ccm destillierten Wassers angemacht. Im Gegensatz zur Lösung A wird sie trübe, weil das nur bei Anwesenheit gewisser Salzmengen lösliche Eierglobulin in feinen oder gröberen Flocken ausfällt. Man gießt die Lösung B in ein Spitzglas und läßt sie ein wenig absetzen. Dann wird die obere Hälfte auf ein angefeuchtetes Filter abgegossen und filtriert als Lösung C, die nunmehr globulinfrei ist.

Versuch mit Lösung A. Eine Dialyseflasche (Fig. 1) wird mit Schwefelsäurepapier (Pergamentpapier) überzogen, das sehr sorgfältig und gleichmäßig mit vielen dicht nebeneinander gelegten Bindfadentouren fest und straff über die untere breite Öffnung der Flasche gebunden wird. Dann wird die Lösung A in die Flasche gefüllt

und die Flasche an einem Stativ in einen Glasnapf mit destilliertem Wasser gehängt. Das Ganze wird bis zum nächsten Praktikum an einem kühlen Ort aufgestellt. Das destillierte Wasser wird inzwischen zweimal gewechselt. Nach 1—2 Tagen hat sich die Lösung stark getrübt, weil die Globuline infolge des Herausdiffundierens der Salze aus der Lösung ausgefallen sind. Es wird dann eine Probe abgenommen und mit einigen Tropfen konzentrierter Kochsalzlösung versetzt. Die Globuline lösen sich wieder, die Lösung wird wieder klar.

Versuche mit Lösung B. Von der trüben Lösung B, in der die Globulinflocken suspendiert sind, wird nach dem Absetzen der noch unverriebenen Eiweißklümpchen eine Portion von ca. 10 ccm in ein Reagenzglas gebracht und mit wenigen Tropfen einer konzentrierten Ammoniumsulfatlösung versetzt. Die Globulinflocken lösen sich auf, die Lösung wird klar. Nunmehr wird das gleiche bis doppelte Volumen konzentrierter Ammoniumsulfatlösung zugegossen. Die Lösung wird jetzt so konzentriert an Salzen, daß die Globuline wieder ausfallen (Aussalzen der Globuline).

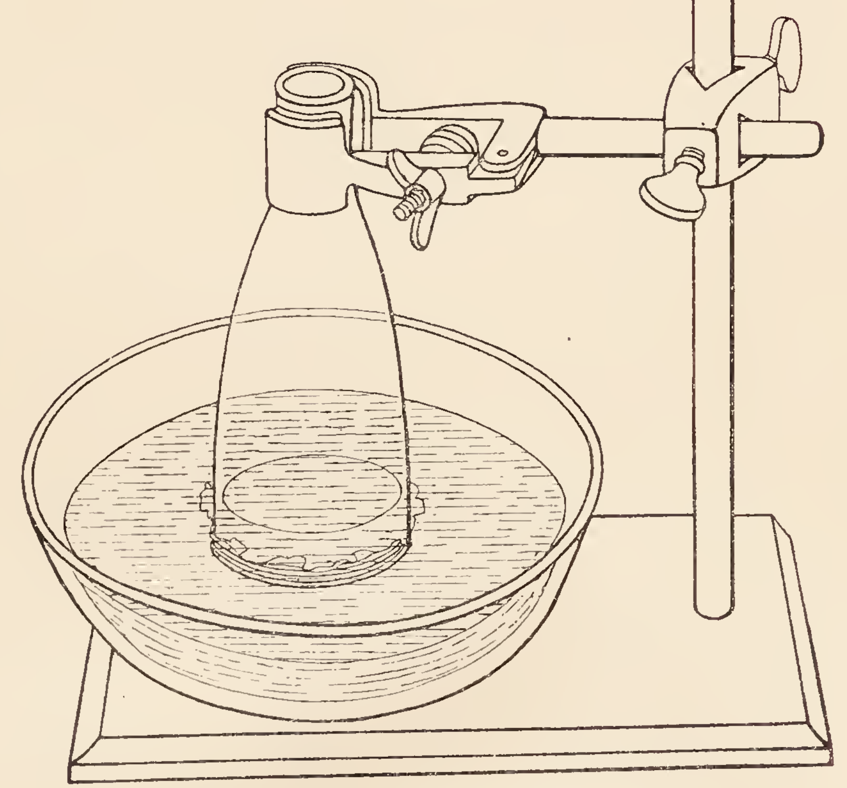


Fig. 1. Dialyseapparat.

Koagulation der Eiweißkörper. Von der im vorigen Versuch abfiltrierten klaren Lösung C werden je 5 ccm in zwei Reagenzgläser abgegossen. Die eine Portion wird mit einigen Tropfen Alkalilauge alkalisch, die andere mit einigen Tropfen verdünnter Essigsäure sauer gemacht. Beide Proben werden über der BUNSEN-Flamme unter Umschütteln gekocht. Die alkalische Probe bleibt völlig klar, die saure bleibt klar oder zeigt höchstens eine sehr schwache Trübung. Nunmehr wird zu beiden Portionen, während sie noch heiß sind, je ein Tropfen konzentrierter Kochsalzlösung gesetzt. Die alkalische Probe bleibt klar, die saure zeigt eine starke weiße Ausfällung von koaguliertem Eiweiß.

Der Versuch beweist, daß für eine flockige Koagulation der Eiweißkörper beim Kochen die Bedingungen am günstigsten sind,

wenn die Lösung schwach sauer ist und gewisse Mengen von Salzen enthält. Wahrscheinlich erfolgt beim Kochen auch in der alkalischen Lösung eine Koagulation des Eiweißes, aber das koagulierte Eiweiß wird sofort als Alkalialbuminat gelöst, so daß es nicht zur Ausflockung kommt.

2. Die Kohlehydrate.

Theoretische Vorbemerkungen. Der Name Kohlehydrate hat seinen Ursprung daher, daß in diesen Verbindungen H- und O-Atome im Zahlenverhältnis von H_2O mit C-Atomen verbunden sind. Die Kohlehydrate bilden Kohlenstoffketten von verschiedener Zahl der C-Atome, an denen in verschiedener Weise H-, O- und OH-Gruppen angelagert sind. Je nach der Anzahl der C-Atome unterscheidet man Pentosen, Hexosen, Nonosen usw. Diejenige Gruppe von Kohlehydraten, die fast allein physiologisch eine Rolle spielt, ist die Gruppe der Hexosen mit 6 oder einem Mehrfachen von 6 C-Atomen in der Kette. Ferner kann man, je nachdem das Kohlehydratmolekül die

Ketongruppe $>C=O$ oder die Aldehydgruppe $-C{\overset{H}{\underset{O}{\leqslant}}}$

enthält, Ketosen oder Aldosen unter den Kohlehydraten unterscheiden. So ist der Fruchtzucker eine Ketohexose, der Traubenzucker eine Aldohexose.

Fruchtzucker	Traubenzucker
$CH_2 \cdot OH$	$CH_2 \cdot OH$
$H \cdot C \cdot OH$	$H \cdot C \cdot OH$
$H \cdot C \cdot OH$	$H \cdot C \cdot OH$
$HO \cdot C \cdot H$	$HO \cdot C \cdot H$
$C=O$	$H \cdot C \cdot OH$
$CH_2 \cdot OH$	$C-H$, $\diagdown O$

Auf der Anwesenheit der Keton- und Aldehydgruppe beruht die reduzierende Wirkung der Hexosen.

Durch Verkoppelung von zwei oder mehreren Hexosemolekülen gleicher oder verschiedener stereochemischer Konstitution unter Austritt von Wasser entstehen polymere Anhydride, so daß man die Hexosen einteilen kann in Monosaccharide (mit 6 C-Atomen), Disaccharide (mit 2 × 6 C-Atomen) und Polysaccharide (mit n × 6 C-Atomen). Die physiologisch wichtigen Hexosen aus diesen drei Gruppen sind folgende:

1. Monosaccharide $C_6H_{12}O_6$:
   Traubenzucker (Dextrose), Fruchtzucker (Lävulose) und Galaktose.
2. Disaccharide $C_{12}H_{22}O_{11}$:
   Milchzucker (Laktose), aus einem Traubenzucker- und einem Galaktosemolekül aufgebaut.
   Rohrzucker (Saccharose), aus einem Traubenzucker- und einem Fruchtzuckermolekül aufgebaut.
   Malzzucker (Maltose), aus 2 Traubenzuckermolekülen aufgebaut.

3. Polysaccharide $(C_6H_{10}O_5)_n$:
Stärke, Dextrin, Glykogen und Cellulose. Bei allen diesen Stoffen ist die Größe des Moleküls noch unbekannt. Sie liefern aber bei der Spaltung sämtlich Traubenzucker.

Reaktionen des Traubenzuckers.

a) Vergärung des Traubenzuckers durch Hefezellen. Ein stark verdünnter Tropfen Bierhefe wird auf den Objektträger gebracht, mit einem Deckglas bedeckt und unter dem Mikroskop erst bei schwacher, dann bei stärkerer Vergrößerung betrachtet. Man sieht zahllose kugelige oder eiförmige, zum Teil einzelne, zum Teil in Sprossung begriffene Hefezellen mit je einer großen Vakuole im körnigen Protoplasma (Fig. 2). Die Hefezellen haben die Fähigkeit, wie es scheint, durch ein intrazellulares Enzym, die „Zymase" BUCHNERs, das Traubenzuckermolekül in Alkohol und Kohlensäure zu spalten: $C_6H_{12}O_6 = 2\,C_2H_5OH + 2\,CO_2$. Die Gärung erfolgt am besten bei etwas höherer Temperatur (ca. 40° C).



Fig. 2. Hefezellen. Die weißen Flecke sind Vakuolen. Mikroskopisch.

1. 500 ccm einer 10proz. Traubenzuckerlösung werden auf 40° erwärmt und mit 10—20 ccm frischer Bierhefe verrührt. Das Gemisch wird in einen ERLENMEYERschen Kolben gefüllt, so daß ein großer Luftraum über der Flüssigkeit übrig bleibt (Fig. 3). Der Kolben ist oben mit einem durchbohrten Gummistopfen verschlossen, durch den nur bis in den Hals des Kolbens ein U-Rohr geführt ist, dessen freier Schenkel in ein kleines mit destilliertem Wasser gefülltes Becherglas eintaucht. Wenn die Hefe frisch ist und gut wirkt, treten bereits nach einigen Minuten Gasblasen in regelmäßigen Zwischenräumen durch das Wasser der Vorlage aus. Man läßt die Gasblasen längere Zeit durch das destillierte Wasser der Vorlage perlen und überzeugt sich dann, daß das Gas aus CO_2 besteht, indem man zu dem Wasser der Vorlage etwas Barytwasser zusetzt. Es entsteht alsdann ein weißer Niederschlag von $BaCO_3$, der sich bei Zusatz von Salzsäure wieder löst.

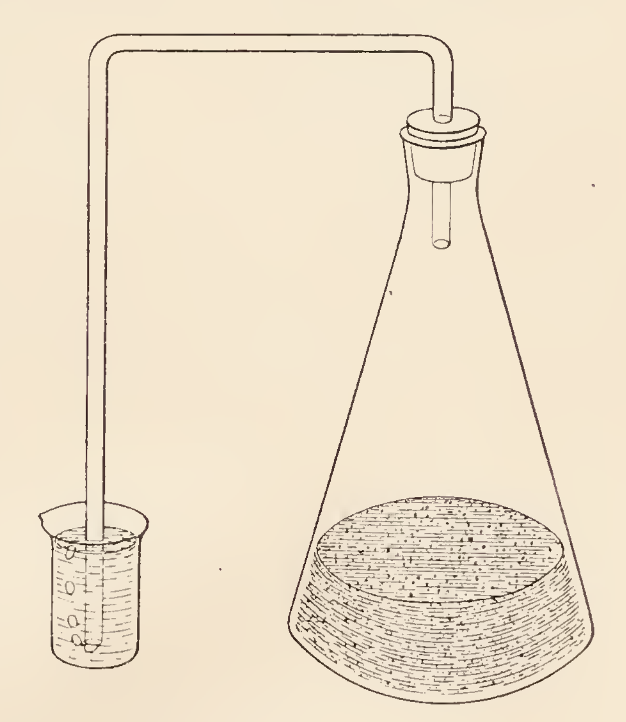


Fig. 3. Hefegärung.

2. 50 ccm einer 1proz. Traubenzuckerlösung werden mit einer etwa erbsengroßen Masse frischer Bierhefe verrührt. Mit dieser

Flüssigkeit wird ein Gärungsröhrchen (Fig. 4) beschickt, so daß die Flüssigkeit den blinden Schenkel vollkommen ausfüllt (Fig. 4*a*). Dann wird das Gärungsröhrchen in einen Thermostaten von 40° C gestellt und nach Ablauf von 1—2 Stunden wieder herausgenommen. Die bei der Gärung entstandene CO_2 hat sich in dem blinden Schenkel des Gärungsröhrchens angesammelt (Fig. 4 *b*). Bei der Benutzung der Gärungsprobe für den Zuckernachweis im Harn ist immer ein Kontrollröhrchen mit einer Traubenzuckerlösung, die mit der gleichen Hefe vermischt ist wie der Harn, unter gleichen Bedingungen mit aufzustellen, als Kriterium dafür, ob die Hefe wirksam ist oder nicht.

b) Reduktionsproben des Traubenzuckers. Infolge des Besitzes einer Aldehydgruppe hat der Traubenzucker große Neigung, Stoffen, welche Sauerstoff leicht abgeben, denselben zu entziehen und selbst sein Molekül oxydativ aufzuspalten. Auf dieser reduzierenden Wirkung beruhen die folgenden Reduktionsproben des Traubenzuckers. Die Proben werden mit einer 1proz. Traubenzuckerlösung angestellt.

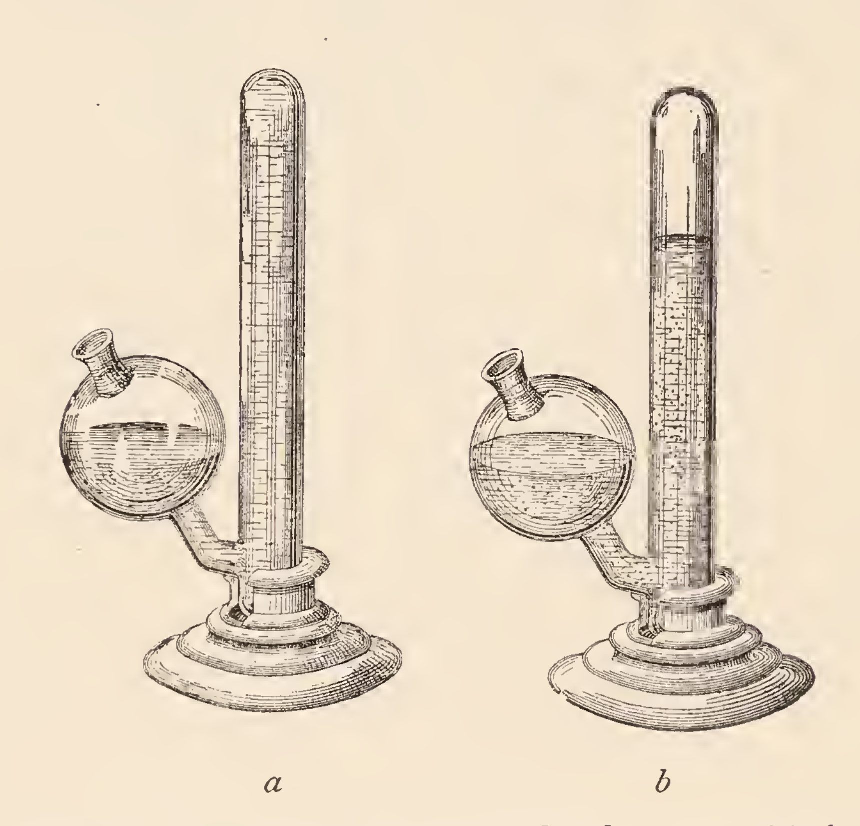


Fig. 4*a* und *b*. Gärungsröhrchen. *a* frisch gefüllt, *b* nach Ansammlung von Kohlensäure im oberen Teil.

TROMMERsche Probe. 5 ccm der Traubenzuckerlösung werden mit mehreren Tropfen Alkalilauge alkalisch gemacht. Dann wird tropfenweise unter gutem Umschütteln eine stark verdünnte $CuSO_4$-Lösung hinzugesetzt. Der bei Zusatz von $CuSO_4$ entstehende blauweiße Niederschlag von Kupferoxydhydrat $Cu(OH)_2$ löst sich in der Traubenzuckerlösung sofort wieder unter tiefblauer Farbe, weil Traubenzucker, wie viele andere Substanzen (z. B. Eiweiß, Glyzerin usw.), ein Lösungsmittel für $Cu(OH)_2$ bildet, während letzteres in reinem Wasser unlöslich ist. Da eine gegebene Menge Traubenzucker nur eine begrenzte Quantität $Cu(OH)_2$ zu lösen imstande ist, so darf man nur so lange verdünnte $CuSO_4$-Lösung tropfenweise hinzufügen, wie der entstehende blauweiße Niederschlag sich noch löst. Die Flüssigkeit muß für die Probe klar bleiben mit tiefblauer Farbe. Alsdann wird erwärmt. Hierbei wird das Kupferoxydhydrat $Cu(OH)_2$ vom Traubenzucker reduziert, zuerst zu gelbem Kupferoxydulhydrat $Cu_2(OH)_2$ und weiter zu rotem Kupferoxydul Cu_2O.

Hat man zu viel $CuSO_4$ zu der Zuckerlösung gesetzt, so daß sich der entstehende blauweiße Niederschlag von $Cu(OH)_2$ nicht mehr löst, so wird beim Kochen das überschüssige $Cu(OH)_2$ zu schwarzem Kupferoxyd CuO umgewandelt, dessen Farbe die rote Farbe des entstandenen Kupferoxyduls Cu_2O unter Umständen ganz verdecken kann. Um sich von diesem Fehler zu überzeugen, führt man die TROMMERsche Probe einmal in dieser fehlerhaften Weise aus. Man kennt einen Versuch erst wirklich, wenn man alle Fehler selbst gemacht hat, die dabei möglich sind.

Um auch bei überschüssig zugesetztem $CuSO_4$ das ungelöst bleibende $Cu(OH)_2$ noch zu lösen, kann man der Flüssigkeit ein anderes Lösungsmittel, wie Glyzerin oder Seignettesalz (weinsaures Kalium-Natrium), zusetzen. Eiweiß eignet sich dazu nicht, weil die violette Farbe der Biuretprobe den Versuch stört. Die FEHLINGsche Lösung zur quantitativen Traubenzuckerbestimmung enthält gleich von vornherein Kupfersulfat, Alkalilauge und Seignettesalz in bestimmtem Verhältnis.

BÖTTGERsche oder NYLANDERsche Probe. Eine alkalische Lösung von Bismuthum subnitricum $Bi(NO_3)_2OH + BiNO_3(OH)_2$ wird von Traubenzucker bis zu schwarzem metallischem Wismut reduziert. Man führt die Probe am besten mit dem bereits fertigen NYLANDERschen Reagens (2 g Bismuthum subnitricum, 4 g Seignettesalz [= Kalium-Natriumtartrat $C_4H_4KNaO_6 + 4\ H_2O$] 100 g Natronlauge von 8 Proz.) aus, indem man auf 5 ccm der Zuckerlösung ca. 0,5 ccm des Reagens hinzusetzt und dann kocht. Es entsteht beim Kochen zunächst eine gelbliche, dann bräunliche und schließlich schwarze Farbe von ausfallendem metallischem Wismut. (Vorsichtig kochen, weil die Flüssigkeit stößt!)

Silbernitratprobe. 5 ccm Traubenzuckerlösung werden mit wenigen Tropfen Ammoniak und dann mit einigen Tropfen einer 10proz. $AgNO_3$-Lösung versetzt. Wird die Flüssigkeit gekocht, so wird das $AgNO_3$ zu metallischem Silber reduziert, das als schwarzer Niederschlag ausfällt oder bei stärkerer Konzentration der Zuckerlösung und genügender Menge von Silbernitrat sich z. T. als glänzender „Silberspiegel“ an der Wand des Reagenzglases ansetzt.

Um den Irrtum zu vermeiden, daß die BÖTTGERsche Probe, TROMMERsche Probe usw. spezifische Reaktionen sind, die ausschließlich dem Traubenzucker zukämen, und um sich zu überzeugen, daß diese Reduktionsproben nur auf der Aldehydnatur des Traubenzuckers beruhen, werden die BÖTTGERsche Probe und die TROMMERsche Probe mit einem einfacheren Aldehyd, dem Formaldehyd HCOH angestellt. Auf 5 ccm destillierten Wassers werden einige Tropfen der käuflichen Formollösung (= 40proz. Formaldehydlösung) gesetzt und dann wird die BÖTTGERsche Probe wie oben ausgeführt. Es entsteht wie bei

Traubenzucker ein schwarzer Niederschlag von metallischem Wismut. Zur Ausführung der TROMMERschen Probe ist es zweckmäßig, der gleichen Flüssigkeit erst ein paar Tropfen Glyzerin zuzusetzen, um das entstehende $Cu(OH)_2$ vollkommen löslich zu machen. Dann wird die Probe wie oben angestellt und gibt beim Erwärmen einen roten Niederschlag von Cu_2O.

Indigoprobe. Indigblau wird in alkalischer Lösung durch Traubenzucker in Indigweiß (gelbliche Farbe) übergeführt. Der Vorgang ist kein einfacher Reduktionsprozeß wie die obigen, sondern verläuft unter Spaltung eines Wassermoleküls so, daß der O desselben an den Traubenzucker, die beiden H-Atome an das Indigblaumolekül gehen und dies zu Indigweiß umwandeln (wie man in der Chemie auch in diesem Falle sagt, „reduzieren"):

$$\text{Indigblau}\quad C_6H_4\left\langle{}^{CO}_{NH}\right\rangle C=C\left\langle{}^{CO}_{NH}\right\rangle C_6H_4$$

$$\text{Indigweiß}\quad C_6H_4\left\langle{}^{C(OH)}_{NH}\right\rangle C-C\left\langle{}^{C(OH)}_{NH}\right\rangle C_6H_4$$

Versetzt man 5 ccm der Traubenzuckerlösung mit einigen Tropfen Na_2CO_3-Lösung und fügt man von einer schwachen Lösung von Indigblau so viel hinzu, daß die Flüssigkeit deutlich, aber nicht zu dunkel blau erscheint, so geht beim Erwärmen die blaue Farbe erst in einen rötlichvioletten, dann schnell in einen hellgelblichen Farbenton über (Indigweiß). Kühlt man nunmehr das Reagenzglas zunächst ohne Umschütteln vorsichtig in kaltem Wasser ab, so kehrt beim Schütteln der abgekühlten Flüssigkeit mit Luft von der Oberfläche her die blaue Farbe wieder, indem das Indigweiß durch Abgabe von zwei H-Atomen unter Wasserbildung wieder in Indigblau übergeht.

$$C_6H_4\left\langle{}^{C(OH)}_{NH}\right\rangle C-C\left\langle{}^{C(OH)}_{NH}\right\rangle C_6H_4 + O = C_6H_4\left\langle{}^{CO}_{NH}\right\rangle C=C\left\langle{}^{CO}_{NH}\right\rangle C_6H_4 + H_2O$$

Durch erneutes Erwärmen kann man das Indigblau wieder zu Indigweiß reduzieren, um dieses nach Abkühlung durch Schütteln mit Luft wieder zu Indigblau zu oxydieren usf., solange noch Traubenzucker vorhanden ist.

Der Versuch ist deswegen von besonderem theoretischem Interesse, weil er an einer leblosen Verbindung durch ihren Farbenumschlag

ein recht sinnfälliges Beispiel für einen Stoffwechsel liefert, der in gewissem Sinne ein einfaches Analogon zum komplizierten Stoffwechsel der lebendigen Substanz vorstellt.

c) Phenylhydrazinprobe. Traubenzucker bildet wie alle Aldehyde in essigsaurer Lösung mit Hydrazinen ($H_2N—NH_2$) unter Wasseraustritt Hydrazone:

$$\underset{\text{Traubenzucker}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Phenylhydrazin}}{NH_2 \cdot NH \cdot C_6H_5} = \underset{\text{Glukose-Phenylhydrazon}}{C_6H_{12}O_5 \cdot N_2H \cdot C_6H_5} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O}$$

Das Glukose-Phenylhydrazon ist in Wasser löslich. Erwärmt man es indessen im Wasserbade mit überschüssigem salzsaurem Phenylhydrazin, so tritt unter Angabe von H_2 und H_2O noch ein Phenylhydrazin-Molekül in das Glukose-Phenylhydrazon ein und bildet ein schwerlösliches Phenylglukosazon, das in gelben Kristallbüscheln ausfällt.

$$\underset{\text{Glukose-Phenylhydrazon}}{C_6H_{12}O_5 \cdot N_2H \cdot C_6H_5} + \underset{\text{Phenylhydrazin}}{NH_2 \cdot NH \cdot C_6H_5} =$$

$$\underset{\text{Phenylglukosazon}}{C_6H_{10}O_4 \cdot (N_2H \cdot C_6H_5)_2} + \underset{\text{Wasserstoff}}{H_2} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O}$$

Der Versuch wird in folgender Weise gemacht. Auf 10 ccm der 1 proz. Traubenzuckerlösung (im kleinen Becherglase oder im Reagenzglase) setzt man eine reichliche Messerspitze salzsauren Phenylhydrazins und zwei Messerspitzen essigsauren Natrons. Das unansehnliche Gemisch wird etwa $^1/_2$ Stunde lang im Wasserbade gekocht. Dann haben sich die charakteristischen gelben Nadelbüschel der Phenylglukosazon-Kristalle ausgeschieden. Diese werden unter dem Mikroskop betrachtet (Fig. 5).



Fig. 5. Kristallbüschel von Phenylglukosazon. Mikroskopisch.

Rohrzucker. Der Rohrzucker ist ein Disaccharid, das durch Hefe nicht vergoren wird und das Metalloxyde nicht reduziert. Nach Spaltung (Invertierung) einer Rohrzuckerlösung in die beiden Monosaccharide: Traubenzucker und Fruchtzucker, wie sie bei Behandlung mit dem Enzym Invertin (Invertase) oder mit verdünnten Säuren erfolgt, gewinnt die Lösung Gärungs- und Reduktionsvermögen.

Invertierung einer Rohrzuckerlösung. Eine 10 proz. Rohrzuckerlösung wird frisch hergestellt. (Lange aufbewahrte Rohrzuckerlösungen sind zum Teil schon invertiert.) Zunächst wird mit 5 ccm der frischen Lösung die TROMMERsche Probe gemacht. Man

überzeugt sich, daß sie negativ ausfällt. Sodann werden 5 ccm der frischen Rohrzuckerlösung mit einigen Tropfen 10proz. HCl etwa 1 Minute lang gekocht. Die abgekühlte Flüssigkeit wird mit Alkalilauge gut überneutralisiert. (Mit Lackmuspapier prüfen, aber nicht an der Wand des Reagenzglases, weil hier die Alkalilauge entlang gelaufen ist und daher alkalische Reaktion vortäuschen kann, während die Flüssigkeit selbst noch sauer ist!) Es muß für die TROMMERsche Probe Alkalilauge im Überschuß zugefügt werden. Dann werden ein paar Tropfen verdünnter $CuSO_4$-Lösung zugesetzt und es wird die TROMMERsche Probe gemacht, die jetzt einen positiven Ausfall liefert.

Milchzucker. Im Gegensatz zum Rohrzucker ist der Milchzucker ein Disaccharid, das Metalloxyde reduziert. Mit einer 1 proz. Milchzuckerlösung werden die TROMMERsche und die BÖTTGERsche Probe gemacht. Der Ausfall ist positiv.

Malzzucker reduziert ebenfalls.

Stärke. Mikroskopische Untersuchung. Die Stärke gehört zu den Polysacchariden und ist in Form von konzentrisch geschichteten Körnchen in den grünen Pflanzenzellen als Reservekohlehydrat aufgespeichert. Etwas Kartoffelstärke (nur eine winzige Spur) wird in etwas Wasser unter dem Deckglas mit dem Mikroskop betrachtet. Die Körner dürfen nicht zu dicht liegen. Bei etwas schräger Beleuchtung sieht man die konzentrische Schichtung (Fig. 6). Durch Jod werden Stärkekörner tief blau gefärbt. Man setzt einen Tropfen Jod-Jodkalilösung an den Rand des Deckglases und beobachtet bei weiter Blende die vordringende Grenze der Jodlösung. Hier färben sich die Stärkekörner erst hell, dann stärker blauviolett und schließlich dunkel schwarzblau. Man kann an der Grenze zwischen Jodlösung und Wasser alle Übergangsfarben an den Stärkekörnern beobachten vom durchsichtigen Farblos bis zum undurchsichtigen Schwarzblau. Um das Vordringen der Jodlösung unter dem Deckglas zu befördern, kann man an der entgegengesetzten Seite des Deckglases mit einem Stückchen Fließpapier die Flüssigkeit unter dem Deckglase ansaugen.



Fig. 6. *a* Kartoffelstärke, *b* und *c* Weizenstärke. Mikroskopisch.

Jodreaktion der Stärkelösung. 1 g Kartoffelstärke wird in der Reibschale pulverisiert und mit 20 ccm destillierten Wassers

verrieben. Sodann wird die Flüssigkeit unter Umrühren in der Abdampfschale bis zum Sieden erhitzt und abgegossen. Diese Stärkelösung (Stärkekleister) wird bis auf 500 ccm mit destilliertem Wasser verdünnt. Setzt man zu 5 ccm dieser Lösung im Reagenzglas einen bis zwei Tropfen verdünnter Jodlösung hinzu, so entsteht eine intensiv blaue Farbe. Ist die Stärkelösung zu konzentriert, so wird die blaue Farbe zu dunkel und man muß die Lösung nachträglich mit Wasser verdünnen. Sind die Stärkekörner nicht aufgelöst, so nimmt die Lösung bei Jodzusatz einen grünlichen Farbenton an.

Beim Erwärmen der blaugefärbten Stärkelösung verschwindet die blaue Farbe und die Lösung wird wasserhell. Beim Abkühlen kehrt die blaue Farbe vom Boden des Reagenzglases her wieder zurück.

Stärkespaltung. Zunächst überzeugt man sich, daß die Stärke an sich nicht reduziert. Eine Messerspitze pulverisierter Stärke wird mit 5 ccm destillierten Wassers unter gutem Umschütteln (!) im Reagenzglase bis zum Sieden erhitzt. Mit dieser Lösung wird die TROMMERsche Probe angestellt (sehr verdünnte $CuSO_4$-Lösung!). Man überzeugt sich, daß die Stärke nicht reduziert. Sodann wird eine Messerspitze pulverisierter Stärke mit 5 ccm 10proz. Salzsäure 1—2 Minuten gekocht und dann mit Alkalilauge stark überneutralisiert. Die TROMMERsche Probe mit sehr verdünnter (!) $CuSO_4$-Lösung gibt jetzt einen positiven Erfolg. Die Stärke ist in einen reduzierenden Zucker gespalten worden.

Dextrin. Dextrin, ebenfalls ein Polysaccharid, ist ein Spaltungsprodukt der Stärke, das bei der Säurespaltung der Stärke und bei der Speichelverdauung entsteht.

Jodreaktion. Eine kleine Messerspitze Dextrin wird in etwa 10 ccm destillierten Wassers warm gelöst und gut abgekühlt. Bei Zusatz von einigen Tropfen verdünnter Jodlösung tritt eine rotviolette Farbe auf. (Es sei bemerkt, daß die im Handel vorkommenden Dextrine sehr ungleichartig sind und daß die Jodfärbung bisweilen einen mehr blauvioletten, bisweilen einen mehr braunvioletten Farbenton liefert.) Dextrin reduziert.

Glykogen. Glykogen (tierische Stärke) ist das Polysaccharid, das als Reservekohlehydrat im tierischen Körper, hauptsächlich in der Leber und auch in den Muskeln aufgespeichert wird.

Jodreaktion. Eine Messerspitze Glykogen wird in etwa 10 ccm destillierten Wassers kalt gelöst. Einige Tropfen Jodlösung färben die Flüssigkeit rotbraun (mahagonifarbig, portweinfarbig).

3. Die Fette.

Theoretische Vorbemerkungen. In chemischer Beziehung sind die Fette Ester, d. h. Verbindungen von Säuren mit einem Alkohol. Der Alkohol ist in allen Fällen derselbe, das Glyzerin $C_3H_5(OH)_3$, die Säuren sind die Säuren der Fettsäurereihe von der allgemeinen Formel $C_nH_{2n}O_2$ und die der Akrylsäurereihe ($C_nH_{2n-2}O_2$) angehörende Ölsäure. Es vereinigen sich zum neutralen Fettmolekül immer 3 Moleküle der Fettsäure mit 1 Molekül Glyzerin unter Austritt von 3 Molekülen Wasser:

$$\underset{\text{Glyzerin}}{C_3H_5(OH)_3} + \underset{\text{Fettsäure}}{3\,C_nH_{2n}O_2} - \underset{\text{Wasser}}{3\,H_2O}$$

Beispiele für Fettsäuren sind:

	Ameisensäure	$= H\ COOH$
	Essigsäure	$= C\ H_3\ COOH$
	Propionsäure	$= C_2\ H_5\ COOH$
	Buttersäure	$= C_3\ H_7\ COOH$
	Valeriansäure	$= C_4\ H_9\ COOH$
	Kapronsäure	$= C_5\ H_{11}COOH$
	Stearinsäure	$= C_{17}H_{35}COOH$
ferner	Ölsäure	$= C_{17}H_{33}COOH$

Durch Kochen mit verdünnten Säuren, besser mit Alkalien, sowie durch Einwirkung bestimmter Enzyme (Steapsin des Pankreassaftes) werden die neutralen Fette unter Wasseraufnahme in Glyzerin und Fettsäuren gespalten. Die Fettsäuren sind, wie die Fette selbst, in Wasser unlöslich, aber löslich in Alkohol und Äther. Mit Alkalien bilden die Fette salzartige Verbindungen, die Seifen, die je nach dem Alkali und der Fettsäure äußerst mannigfaltig sind. Die Seifen der Leichtmetalle sind in Wasser löslich, die der Schwermetalle unlöslich. Mineralsäuren spalten die Seifen und bewirken in wässeriger Lösung ein Ausfallen der entsprechenden Fettsäuren. Durch Vertretung von H-Atomen durch die Aminogruppe $-NH_2$ entstehen aus den Fettsäuren die wichtigen Aminosäuren, die als wesentliche Bausteine des Eiweißmoleküls eine große Rolle spielen. Wenn Fette, wie das bei allen als Nahrungsstoffe verwandten Fetten der Fall ist, geringere oder größere Mengen von freien Fettsäuren enthalten, so nennt man sie ranzig. Ranzige Fette emulgieren sich von selbst, sobald sie mit alkalischen Medien in Berührung kommen, d. h. sie verteilen sich in zahllose mikroskopisch kleine Fettkügelchen, welche die Flüssigkeit wegen ihrer allseitigen Lichtreflexion milchig trüben. Die Milch selbst ist eine solche Emulsion. Der Vorgang vollzieht sich dadurch, daß die zwischen den Partikeln von neutralem Fett gelegenen Fettsäureteilchen sich mit den Alkalien des Mediums zu Seifen verbinden und sich lösen, so daß die neutralen Fettpartikel frei in der Flüssigkeit suspendiert werden. Neutrale Fette emulgieren sich nicht. Ebensowenig ranzige Fette in saurer Lösung. Durch Überosmiumsäure OsO_4 werden Fette schwarz gefärbt. Auf Wasser breiten sich Fette und Öle in dünnen Häutchen über weite Flächen hin aus und erhöhen dadurch die Oberflächenspannung.

Akroleïnreaktion der Fette. Die Akroleïnreaktion beruht auf der Anwesenheit des Glyzerins im Fettmolekül. Durch wasserentziehende Mittel (z. B. Monokaliumsulfat $KHSO_4$) wird Glyzerin unter Abspaltung von 2 Molekülen Wasser in Akroleïn übergeführt,

das durch seinen charakteristischen Geruch nach verbranntem Fett leicht erkenntlich ist.

$$\begin{matrix} CH_2OH \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_2OH \end{matrix} \quad - \quad 2\,H_2O \quad = \quad \begin{matrix} CH_2 \\ \| \\ CH \\ | \\ C{\overset{H}{\leqslant}}O \end{matrix}$$

Glyzerin — Wasser — Akroleïn

Eine Messerspitze voll $KHSO_4$ wird mit 2—3 Tropfen Öl im Reagenzglase erhitzt. Es entstehen Dämpfe mit intensivem Akroleïngeruch.

Zum Vergleich wird derselbe Versuch mit gleichem Erfolg an Glyzerin gemacht.

Spaltung und Verseifung der Fette. Ausfällung der Fettsäuren. In ein Reagenzglas werden 5 ccm Alkalilauge, in ein anderes 5 ccm Alkohol absolutus und ein einziger Tropfen Öl gebracht, den man mit einem wagerecht gehaltenen Glasstabe genau senkrecht in das gerade gehaltene Reagenzglas bis auf den Boden fallen läßt. Beide Flüssigkeiten werden gekocht (Vorsicht!), dann zusammengegossen und nochmals gekocht (Vorsicht, stößt!). Die Lösung wird mit destilliertem Wasser verdünnt, bis sie klar ist. Hat man zu viel Öl genommen, so scheiden sich feine Tröpfchen von ungespaltenem Öl in der Flüssigkeit aus. In der Lösung befindet sich außer dem Alkohol und der überschüssigen Alkalilauge Glyzerin und Alkaliseifen. Die Lösung wird in zwei Portionen geteilt. Zu der einen Portion werden einige Tropfen Bleiacetatlösung $C_2H_3O_2 \cdot Pb \cdot OH$ hinzugesetzt. Es entsteht ein dicker weißer Niederschlag von unlöslicher Bleiseife (zur Herstellung des Bleipflasters benutzt). Die andere Portion wird mit einigen Tropfen verdünnter H_2SO_4 versetzt. Die Fettsäuren bzw. Ölsäure fallen unter leichter Trübung der Lösung aus.

Emulgierung der Fette. Vier Reagenzgläser werden je mit 5 ccm destillierten Wassers gefüllt. Zu Reagenzglas I und II werden einige Tropfen verdünnter H_2SO_4, zu Reagenzglas III und IV einige Tropfen Alkalilauge hinzugefügt. Dann wird zu I ein Tropfen neutralen Öls (als „säurefreies Öl“ oder Uhrmacheröl im Handel), zu II ein Tropfen ranzigen Olivenöls, zu III ein Tropfen säurefreien Öls und zu IV endlich wieder ein Tropfen ranzigen Olivenöls zugefügt, indem man die Reagenzgläser ganz senkrecht (!) hält und den Öltropfen aus dem Ölfläschchen oder mit einem Glasstab genau senkrecht in

die Flüssigkeit fallen, nicht am Reagenzglasrande herablaufen (!) läßt (Geschicklichkeit!). Darauf werden alle vier Reagenzgläser, indem man sie gleichzeitig nebeneinander in der Hand hält, einmal kurz geschwenkt. Nur in der Probe IV erfolgt Emulgierung. Die drei anderen Proben bleiben klar und durchsichtig:

I	II	III	IV
sauer	sauer	alkalisch	alkalisch
+	+	+	+
neutrales Fett	ranziges Fett	neutrales Fett	ranziges Fett
keine Emulsion	keine Emulsion	keine Emulsion	Emulsion

Der Versuch beweist, daß zur Emulgierung 1. ranziges Fett, 2. alkalisches Medium notwendig ist.

Osmiumsäurefärbung. Die Emulsion Nr. IV aus dem vorigen Versuch wird mit etwas Überosmiumsäure (1 proz. Lösung) versetzt. Es tritt allmählich immer deutlicher eine schwarzbraune Färbung der Fettpartikelchen auf.

Ausbreitung der Fette auf Wasser. Um die Ausbreitung der Fette auf den Oberflächen wässeriger Medien gut sehen zu können ist es zweckmäßig, einen deutlich wahrnehmbaren Indikator für die Ausbreitung zu benutzen. Dazu dienen kleine Partikel von fein zerschabtem Kampfer, die sich vermöge ihrer starken Verdampfung wirbelnd und tanzend auf der Wasseroberfläche hin- und herbewegen. Wird die Oberflächenspannung der Flüssigkeit indessen größer, wie das bei der Ausbreitung von Öl geschieht, so reicht der Verdampfungsdruck der Kampferteilchen nicht mehr aus, um sie auf der Oberfläche umherzustoßen und sie bleiben still stehen. Der Versuch wird am besten in folgender Weise ausgeführt. Eine ca. 25—30 cm (im Durchmesser) große, flache Glasschale, die sorgfältig gereinigt ist (nicht mit fettigem Handtuch abtrocknen!), wird mit Leitungswasser gefüllt und auf dunkler Unterlage aufgestellt. Über die Wasseroberfläche hin werden feine Kampferpartikel verstreut, die mit einem Messer von einem Kampferstück abgeschabt werden. Die Kampferpartikel wimmeln rastlos auf der Oberfläche des Wassers umher. Nunmehr wird die Wasseroberfläche mit einem in Öl eingetauchten und nur oberflächlich abgewischten Glasstab berührt. Sofort weichen alle Kampferpartikel von der Berührungsstelle, von der sich das Öl ausbreitet, fort, und stehen vollkommen still, da sie den Druck der Oberflächenspannung durch ihren Verdampfungsdruck nicht mehr überwinden können. Das Öl hat sich in einer Sekunde über die ganze Wasseroberfläche ausgebreitet.

4. Die anorganischen Stoffe.

Theoretische Vorbemerkungen. Die anorganischen Stoffe der Zelle, das Wasser und die Salze, haben nicht nur durch ihre Konstitution eine speziell chemische Bedeutung für den Stoffwechsel. Sie dienen auch als Regulatoren für die Intensität des Stoffwechsels. Ohne Wasser, das durchschnittlich in 70—80 Proz. in der lebendigen Substanz der Zelle enthalten ist, können z. B. die Stoffwechselprozesse überhaupt nicht ablaufen. Der Stoffwechsel erfordert gelöste Stoffe. Weiterhin haben aber das Wasser und die Salze noch eine andere Bedeutung insofern, als der Wassergehalt einer Zelle den Umfang ihrer Reaktion auf Reize beherrscht. Jede Form der lebendigen Substanz hat ihren spezifischen ganz bestimmten Wassergehalt. Wird derselbe geringer, so rücken die im Stoffwechsel chemisch aufeinander wirkenden Moleküle infolge ihrer kleineren Wasserhüllen näher aneinander und die Reizreaktionen können sich innerhalb der lebendigen Substanz von Molekül zu Molekül weiter fortpflanzen, werden also umfangreicher, d. h. stärker. Wird der Wassergehalt dagegen größer, so ist das Umgekehrte der Fall, bis zum vollständigen Erlöschen jeder sichtbaren Reizreaktion. Der Wassergehalt bestimmt also die Reaktionsgröße der Zelle auf Reize. Der Wassergehalt ist aber selbst wieder wesentlich abhängig von der Menge der osmotisch wirksamen Stoffe in der lebendigen Substanz. Das sind in erster Linie die Salze. Selbstverständlich wird der Wassergehalt der Zelle auf osmotischem Wege auch durch den Salzgehalt des umgebenden Mediums beherrscht. Hängt man einen durch eine Membran abgeschlossenen Zylinder mit einer Salzlösung gefüllt in ein Gefäß mit destilliertem Wasser, so diffundiert das Wasser schneller durch die Membran als das Salz. Es tritt daher von außen Wasser durch die Membran in den Zylinder hinein, seine Wassermenge wird vermehrt. Hängt man umgekehrt einen entsprechenden Zylinder mit destilliertem Wasser gefüllt in eine Salzlösung, so tritt Wasser aus dem Zylinder aus. In analoger Weise verhält sich die Zelle. Die Oberflächenschicht des lebendigen Protoplasmas jeder Zelle hat die Eigenschaften einer „semipermeablen Membran", d. h. sie läßt Wasser leicht hindurchtreten, während sie den Durchtritt der im Wasser gelösten Salze entgegen ihrer Diffusionsgeschwindigkeit hindert. Spritzt man daher einem Muskel durch die Blutgefäße eine hypotonische Salzlösung, d. h. eine Lösung von geringerem Salzgehalt ein, so nehmen seine Zellen mehr Wasser auf, bis das osmotische Gleichgewicht zwischen Zellinhalt und Medium wieder hergestellt ist. Dementsprechend werden seine Reaktionen auf Reize schwächer oder erlöschen ganz, seine Erregbarkeit sinkt. Spült man ihm dagegen eine hypertonische Salzlösung, d. h. eine Lösung von höherem Salzgehalt, durch die Blutgefäße, so geben seine Zellen Wasser ab, bis das osmotische Gleichgewicht wieder hergestellt ist und die Reaktionen auf Reize nehmen bis zu einer gewissen Grenze an Stärke zu, die Erregbarkeit steigt. So gewinnen Salze und Wasser eine große Bedeutung für die Regulation der Lebensprozesse.

Osmotische Eigenschaften von Salzlösungen. Eine Dialyseflasche wird in der oben p. 6 angegebenen Weise mit Pergamentpapier überzogen und bis zum Rande mit konzentrierter NaCl-Lösung gefüllt. Darauf wird ein einfach durchbohrter Gummistopfen, durch

den eine hohe Steigröhre hindurchgeht, auf die Flasche fest aufgesetzt, so daß keine Luft in der Flasche zurückbleibt. Schließlich wird die Flasche mit dem Halse in einem Stativ befestigt und mit ihrem unteren Teil in ein größeres, mit destilliertem Wasser gefülltes Gefäß eingesenkt. Die Salzlösung in der Steigröhre reicht jetzt bis zu einem bestimmten Punkte hinauf (Fig. 7). Dieser Punkt wird durch eine Papier- oder Tintenmarke bezeichnet. Nach Ablauf einer halben Stunde bemerkt man, daß die Salzlösung in der Steigröhre bereits viel höher gestiegen ist. Es ist also Wasser aus dem unteren Gefäß durch die Membran in die Dialyseflasche hineingetreten. Verbindet man das Steigrohr durch eine kontinuierliche Flüssigkeitssäule mit einem Quecksilbermanometer, so kann man die durch die Wasseraufnahme bedingte Steigerung des Druckes in der Flasche direkt manometrisch messen. Nach längerer Zeit sieht man das Niveau der Flüssigkeitssäule im Steigrohr wieder allmählich sinken, weil die Pergamentpapiermembran keine „semipermeable“ Membran ist, sondern auch Salze, wenn auch viel langsamer als Wasser, hindurchtreten läßt. Wäre die Flasche durch eine wirkliche „semipermeable“ Membran abgeschlossen wie die Zelle, so würde das Niveau der Flüssigkeit nach Erreichung seines Maximums hier stehen bleiben.

Fig. 7. Osmoseversuch.

B. Die Wirkungen der Reize.

Der Vorgang des Lebens besteht in einer Summe von chemischen Prozessen, die je nach der Betrachtungs- oder Untersuchungsmethode als Stoffwechselvorgänge oder als Energie-

umsetzungen oder als Formbildungsprozesse bezeichnet werden können. Die lebendige Substanz der Zelle zersetzt sich fortwährend von selbst und bildet sich fortwährend wieder neu. Die sämtlichen Prozesse der Zersetzung der lebendigen Substanz und der Bildung der charakteristischen Ausscheidungsprodukte, welche die Zelle verlassen, pflegt man mit einem kurzen Sammelausdruck als die „Dissimilationsphase" des Stoffwechsels, die sämtlichen Prozesse, welche zum Aufbau von lebendiger Substanz aus den zugeführten Nahrungsstoffen führen, pflegt man als die „Assimilationsphase" zu bezeichnen. In ungestörtem Zustande befinden sich, abgesehen von den langsam fortschreitenden Prozessen der Entwickelung, die schließlich im Tode der Zelle endigen, Assimilationsprozesse und Dissimilationsprozesse im Gleichgewicht, d. h. es zerfällt ebensoviel lebendige Substanz wie sich neubildet und umgekehrt. Dieses „Stoffwechselgleichgewicht" wird aber gestört, sobald Reize auf die lebendige Substanz einwirken.

Der Begriff des Reizes, jenes Faktors, der in der gesamten Organismenwelt eine fundamentale Rolle spielt und in der experimentellen Physiologie auf Schritt und Tritt Verwendung findet, läßt sich in allgemeiner Fassung nur definieren in seiner Relation zu den Lebensbedingungen.

Reiz ist jede Veränderung in den äußeren Lebensbedingungen. Alle derartigen Veränderungen wirken auf einen gegebenen Zustand der lebendigen Substanz verändernd ein.

Für den Arzt ist daher die Kenntnis der Reizwirkungen von der allergrößten Bedeutung, denn Krankheit ist Leben unter veränderten Lebensbedingungen, also unter dem Einfluß von Reizen.

Die verschiedenen Reize können wir nach den Energieformen, die sie repräsentieren, unterordnen unter folgende große Gruppen von Reizqualitäten:

chemische Reize,
osmotische Reize,
mechanische Reize,
thermische Reize,
photische Reize,
elektrische Reize.

Die allgemeinen Gesetze der Reizwirkungen lassen sich in einem verhältnismäßig einfachen Schema ausdrücken, je nachdem die Reize die spezifischen Lebensprozesse einer Zelle entweder qualitativ oder quantitativ verändern.

Qualitative Veränderungen der normalen Lebensprozesse sehen wir hauptsächlich unter dem Einfluß langdauernder (chronischer) Reize, wie z. B. während der Entwickelung oder der Krankheit der Organismen. Hierbei treten im Leben der Zelle Vorgänge auf, die dem normalen Geschehen vollkommen fremd sind (Fettmetamorphose, Kalkablagerung usw.).

Quantitative oder Intensitätsänderungen der normalen Lebensprozesse beobachten wir hauptsächlich unter dem Einfluß kurzdauernder (akuter) Reize, wie sie beim physiologischen Geschehen im gesunden Organismus namentlich als Sinnesreize und Nervenimpulse die Hauptrolle spielen. Ihre Einwirkung besteht in einer vorübergehenden Intensitätsveränderung des normalen Stoffwechsels, indem derselbe entweder

beschleunigt (erregt) oder verlangsamt (gelähmt) wird. Diese Reize wirken also als Katalysatoren im Sinne der physikalischen Chemie. In der Regel besteht die unmittelbare Reizwirkung aber nicht in einer Erregung oder Lähmung des gesamten Stoffwechsels, sondern nur einzelner Glieder desselben. Die physiologischen Reize im Organismus, vor allem die Nervenimpulse, wirken fast immer durch eine Beeinflussung der Dissimilationsphase. Daraus resultiert eine vorübergehende Störung des Stoffwechselgleichgewichts. Diese wird aber nach Aufhören des Reizes durch die „Selbststeuerung des Stoffwechsels" (Wiederherstellung des chemischen Gleichgewichtszustandes) sofort wieder ausgeglichen. Bei den chronisch einwirkenden Reizen kann, solange der Reiz andauert, eine Wiederherstellung des Stoffwechselgleichgewichts in der Regel nicht eintreten. Infolgedessen geht die Zelle unter diesen Umständen meistens ganz allmählich zugrunde, wobei eben häufig qualitative Veränderungen des normalen Stoffwechsels bemerkbar werden, indem Stoffe, die im Stoffwechsel entstehen, wegen Lähmung eines Gliedes der Stoffwechselkette, nicht mehr wie im normalen Leben weiter verarbeitet werden, sondern sich anhäufen (Fett, Schleim, Kalksalze usw.). Es ist daher sehr wahrscheinlich, daß die qualitativen Veränderungen der normalen Lebensprozesse unter dem Einfluß der Reize erst sekundäre Folgen von Intensitätsveränderungen einzelner Glieder der Stoffwechselkette sind und daß also alle Reize primär nur Intensitätsänderungen der normalen Lebensprozesse hervorrufen. Dann besteht die Wirkung aller Reize primär immer nur in Erregung oder Lähmung.

Über die Ermüdung und Erschöpfung, die bei länger dauernder oder zu starker Reizung bei jeder lebendigen Substanz entsteht, siehe unten das Kapitel über Muskelphysiologie.

1. Erregende und lähmende Wirkungen der Temperaturreize.

Theoretische Vorbemerkungen. Mit sinkender Temperatur werden die normalen Lebensprozesse der Zelle gelähmt, mit steigender erregt. Indessen hat die erregende Wirkung der Wärme ihre Grenze. Ist ein Maximum der erregenden Wirkung bei einem für jede Zellform bestimmten Temperaturgrad erreicht, so bewirkt jede weitere Steigerung der Temperatur eine schnelle Lähmung. Das Optimum für den Ablauf der Lebensprozesse liegt immer unterhalb des Maximums bei dem Temperaturgrad, der den normalen Lebensbedingungen entspricht, an die der Organismus angepaßt ist. Durch Anpassung ist das Optimum in der Regel innerhalb gewisser Grenzen variabel. Eine Unabhängigkeit von den Veränderungen der Außentemperatur hat sich innerhalb gewisser Grenzen nur der Körper der Warmblüter erworben, indem er besondere Regulationsmechanismen entwickelt hat, die es bewirken, daß sein Stoff- und Energieumsatz mit steigender Außentemperatur sinkt und mit sinkender Außentemperatur steigt (vgl. unten das Kapitel Wärme).

Ansetzen einer Infusorienkultur. Für die folgenden Versuche sind größere Mengen von Infusorien (Colpidium oder Paramaecium) notwendig. Ihre Kultur muß mindestens 2—3 Wochen vor dem Gebrauch angesetzt werden. Es wird eine Handvoll Heu in einem ca. 3—5 Liter fassenden, bis oben mit Wasser gefüllten Ein-

macheglas aufgeweicht und offen stehen gelassen, bis sich eine weißliche, dicke Bakterienhaut an der Oberfläche gebildet hat. Dann wird das Gefäß mit einem Glasdeckel bedeckt und so vor Staub geschützt bei etwa 18° C aufbewahrt. Nach ca. 8—10 Tagen haben sich an der Oberfläche der Kultur in der Regel bereits massenhaft Colpidien (Fig. 8) und häufig auch schon einzelne Paramäcien (Fig. 9) entwickelt. Man entnimmt von den schleimigen Massen der Oberfläche einige Tropfen mit einem Tropfgläschen und prüft sie im Uhrschälchen unter dem Mikroskop. Läßt man die Kultur etwas länger stehen, so werden die kleinen Colpidien allmählich seltener und die großen Paramäcien überwiegen. Die Keime von beiden Infusorienformen sind in der Regel im Heu enthalten. Gehen die Kulturen indessen nicht von selbst an, so ist es nötig, sie mit einigen Tropfen Colpidium- oder Paramaecium-haltigen Wassers, das man aus einem Teich oder aus einem zoologischen Institut bezieht, zu impfen, sobald sich die Bak-

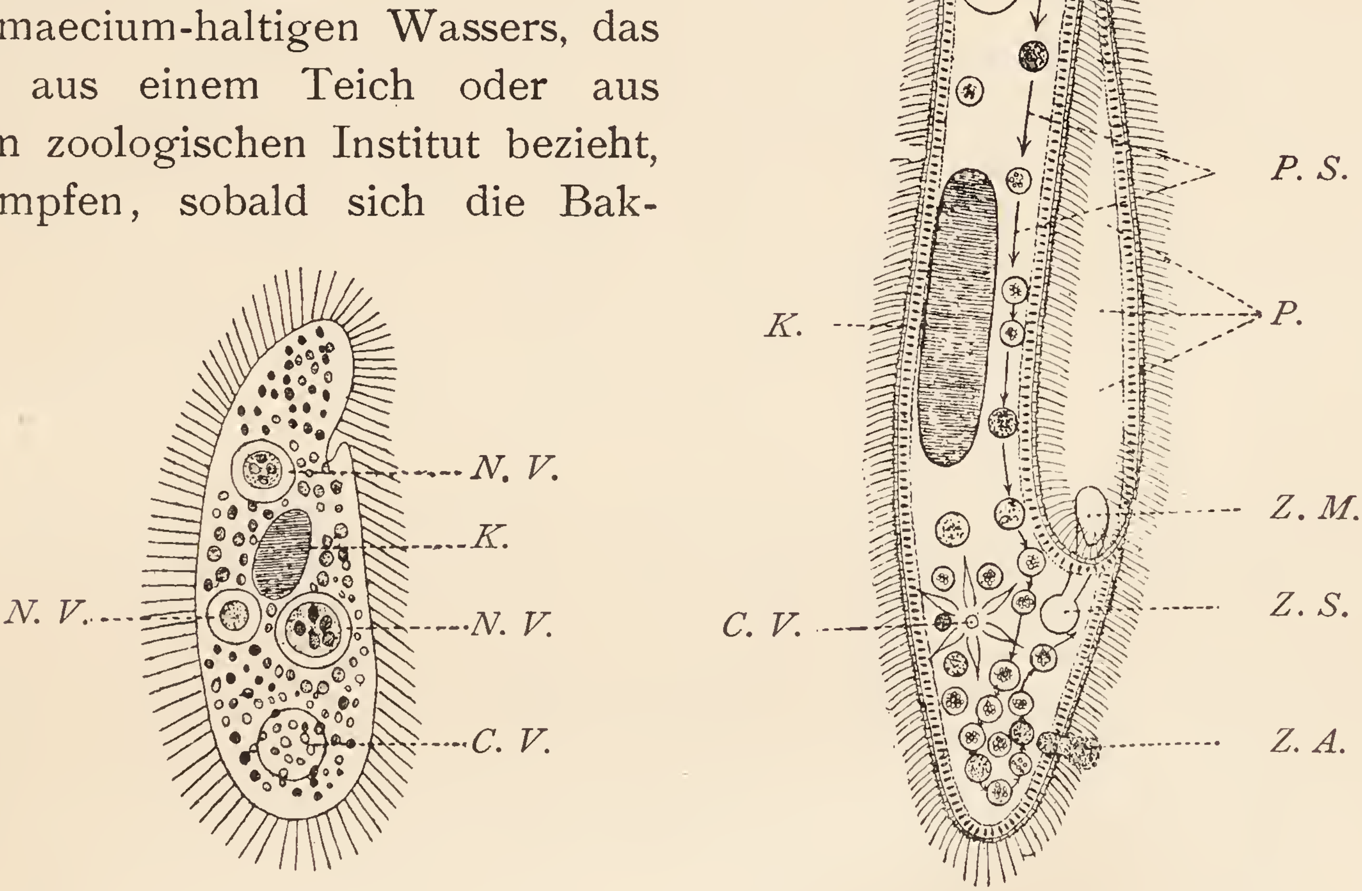


Fig. 8. Colpidium colpoda. Fig. 9. Paramaecium aurelia.

In beiden Figuren bedeutet: *K.* Zellkern, *C. V.* Kontraktile Vakuolen, *N. V.* Nahrungsvakuolen mit Nahrungsballen, *Z. M.* Zellmund, *Z. S.* Zellschlund, *Z. A.* Zellafter, *P.* Peristomfeld, *T.* Trichocysten, *P. S.* Pfeile, welche die Richtung der Protoplasmaströmung mit den Nahrungsballen angeben. Beide Figuren etwa 400malige Vergrößerung.

terienzooglöenhaut an der Oberfläche des Heuaufgusses gut entwickelt hat. Hat man eine gute Infusorienkultur erhalten, so ist es zweckmäßig, von Zeit zu Zeit (alle 6—8 Wochen) einige neue Kulturen durch Überimpfung von der alten anzulegen und die alte weggießen, sobald die neuen angegangen sind. Häufig gelingt es, ältere Kulturen wieder etwas aufzufrischen, indem man einen halben Liter frischen Wassers und etwas Gelatinelösung oben aufgießt. Die

Gelatinelösung bietet den Bakterien, die den Paramäcien als Nahrung dienen, einen neuen Nährboden. Die Kulturen halten sich meist nicht länger als einige Monate, und man tut gut, in jedem physiologischen Laboratorium die Kontinuität der Kulturen vom Diener unterhalten zu lassen, um nicht im gegebenen Augenblick in Verlegenheit zu geraten.

Einfluß von Kälte und Wärme auf die Wimperbewegung. Man saugt mit einer Kugelpipette eine Quantität infusorienhaltiger Flüssigkeit vom obersten Rande der Kultur, dort, wo die Infusorien um die Bakterienzoogloöen dichte weiße Randsäume bilden, ab und koliert die Kulturflüssigkeit durch ein nicht zu feinmaschiges Koliertuch. (Über eine feinere Methode zum Reinigen der Infusorien siehe nächsten Absatz.) Inzwischen wird der mit Wasser heizbare Objekttisch von PFEIFFER (Fig. 10) unter das Mikroskop gebracht und sein

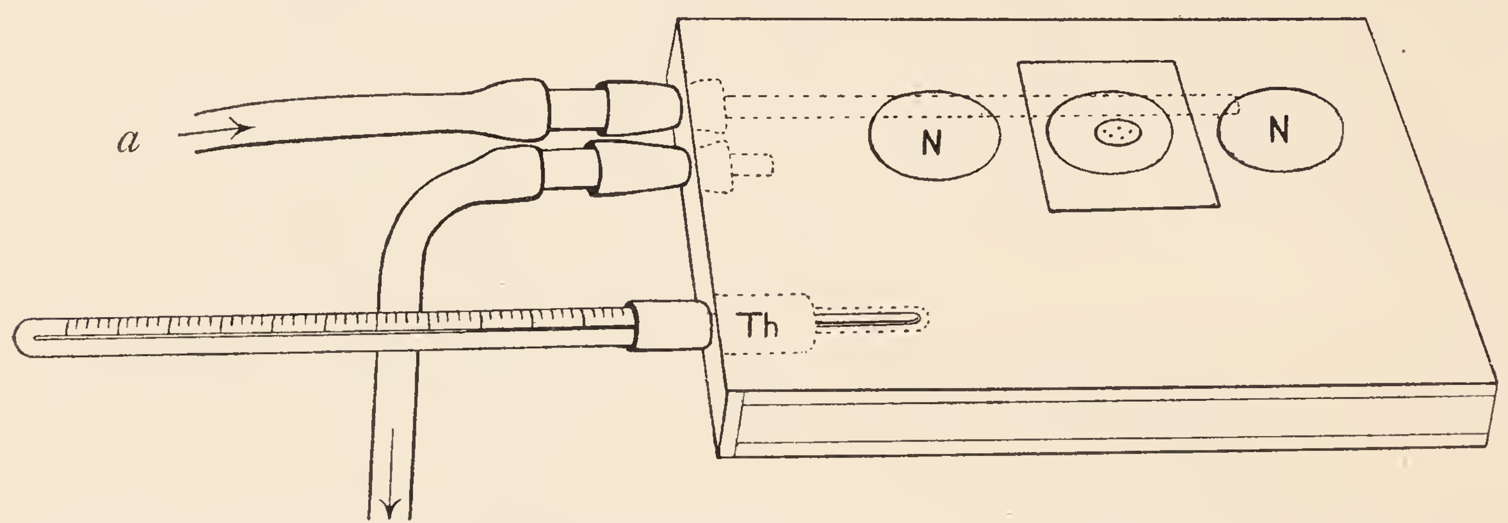


Fig. 10. Heizbares Objekttischkästchen aus Glas. Die Pfeile bezeichnen den Zu- und Abfluß des Wassers. *Th* Thermometer, *N* hohlgeschliffene Näpfchen an der Oberseite des heizbaren Kästchens; auf dem mittleren liegt das Deckglas mit dem hängenden Tropfen.

Zuflußtubus *a* durch einen Gummischlauch mit einer ca. 1—2 Liter fassenden Ausflußflasche verbunden, die auf einer erhöhten Unterlage steht und an ihrem Ausflußtubus einen durchbohrten Gummistopfen mit einer kurzen Glasröhre trägt. Darauf wird der Verbindungsschlauch mit einer Schlauchklemme abgeklemmt (Fig. 11). An dem Ausflußtubus der Objekttischkammer wird ebenfalls ein kurzer Gummischlauch befestigt, der in einen größeren Glasnapf hineinhängt, welcher zur Aufnahme des Spülwassers dient. Nunmehr wird mit einer Tropfpipette ein sehr kleiner Tropfen mit möglichst vielen Infusorien von der Oberfläche des Becherglases entnommen und auf ein Deckglas gebracht, das durch eine schnelle Drehung der Hand umgekehrt wird, so daß der Tropfen am Deckglase hängt. In dieser Lage wird das Deckglas über eine der Vertiefungen der heizbaren Objekttischkammer gelegt. Man beobachtet jetzt zunächst die Infusorien unter dem Mikroskop und überzeugt sich von der Wimperbewegung und der Schwimmgeschwindigkeit bei

Zimmertemperatur. Darauf wird die Ausflußflasche durch einen Trichter mit Eiswasser gefüllt und die Klemme vom Verbindungsschlauch entfernt. Nun beobachtet man die Infusorien wieder, während das Eiswasser durch die PFEIFFERsche Kammer fließt und findet, wie ihre Schwimmgeschwindigkeit allmählich immer geringer wird. Die Abkühlung lähmt die Wimperbewegung. Ist das Eiswasser aus der Flasche herausgelaufen, so wird die Ausflußflasche mit Wasser von 40—50° C gefüllt und das noch in der Kammer vorhandene Eiswasser allmählich durch warmes Wasser verdrängt. Während man beobachtet, sieht man die Bewegung der Infusorien immer schneller und schneller werden. Schließlich bei etwa 30 bis 34° C schwimmen die Infusorien wie rasend umher und schießen pfeilschnell durch das Gesichtsfeld. Steigt die Temperatur noch

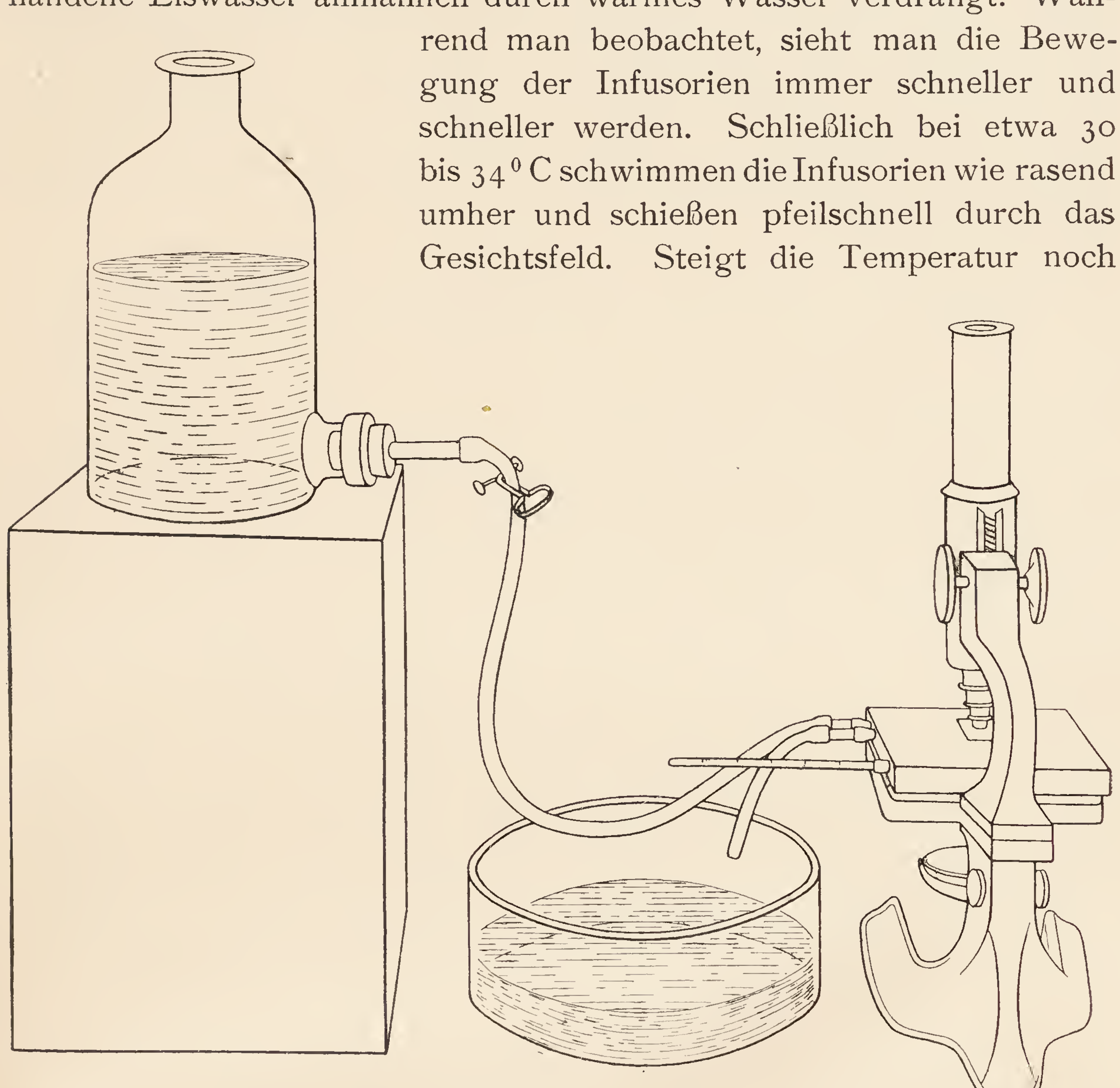


Fig. 11. Apparat zur Abkühlung und Erwärmung mikroskopischer Objekte.

höher, so ist das Maximum der Erregung überschritten und man bemerkt, wie die Bewegung der Infusorien sehr schnell ganz gelähmt wird bis zum völligen Stillstand und Tod bei etwa 38—40° C. Es ist übrigens zu berücksichtigen, daß das Thermometer der Kammer nicht genau die Temperatur im hängenden Tropfen angibt. Die letztere könnte nur durch eine entsprechende Korrektur genau ermittelt werden.

2. Taktische Wirkungen einseitiger Reize.

Theoretische Vorbemerkungen. Wirken Reize auf einen freibeweglichen Organismus nicht allseitig gleichmäßig ein, sondern bestehen Differenzen in bezug auf die Reizwirkung an verschiedenen Punkten seiner Körperoberfläche, so stellt sich der Organismus mit seiner Längsachse in bestimmter Richtung zur Reizquelle ein und bewegt sich in dieser Richtung zur Reizquelle hin oder von der Reizquelle fort oder auch in senkrechter Richtung zur Richtung der Reizquelle. Man unterscheidet demnach je nach der Reizqualität positive, negative und transversale Chemotaxis, Geotaxis, Thermotaxis, Phototaxis, Galvanotaxis usw. Der Mechanismus dieser Achseneinstellungen, die früher als geheimnisvolle Anziehungen und Abstoßungen oder als Ausdruck von bewußten Lust- und Unlustempfindungen oder auch als mystische Wirkungen der „Richtung" aufgefaßt wurden, ist heute ganz klar und beruht auf der verschieden starken Erregung oder Lähmung der verschiedenen Bewegungsorgane des Körpers durch die an verschiedenen Punkten der Oberfläche verschieden stark einwirkenden Reize.

Negative Geotaxis von Paramaecium. Die negative Geotaxis der Paramäcien kann als eine sehr bequeme Methode zur Reinigung einer Paramäcienkultur benutzt werden. Man füllt in ein 1—1,5 m langes und 2—2,5 cm dickes, unten rundlich geschlossenes Glasrohr etwa 15—20 cm hoch Kulturflüssigkeit, die man aus einer Infusorienkultur mit einer Kugelpipette oben von den Rändern, wo die Infusorien am dichtesten sitzen, abgesaugt und durch ein nicht zu feinmaschiges Koliertuch koliert hat. Über die Kulturflüssigkeit füllt man unter der Leitung Wasser bis zum Rande des Rohres und läßt das Rohr in ein Stativ eingespannt senkrecht stehen. Die Paramäcien schwimmen sehr bald aus der Schicht ihrer Kulturflüssigkeit heraus in das darüber stehende klare Wasser hinein und sammeln sich in großen Massen im obersten Teil der Röhre an, alle anderen Mikroorganismen und alle Verunreinigungen der Kulturflüssigkeit durch ihre große Schwimmgeschwindigkeit hinter sich zurücklassend. Hat sich eine dichte Ansammlung oben gebildet und sind die tieferen Teile der Röhre im wesentlichen von den Paramäcien verlassen, so kann man die oben angesammelte Masse mit einer Kugelpipette abheben und in ein kleines Becherglas füllen. Man hat dann eine fast reine Paramäcienkultur. Will man die Kultur absolut rein haben, so kann man dieser ersten Reinigung eine zweite und dritte Reinigung derselben Individuen folgen lassen in der gleichen Weise wie vorher.

Ausziehen von Kapillarröhren und Kapillarspitzen aus Glas. Vorbereitung. Will man eine lange Kapillarröhre aus Glas ausziehen, so faßt man ein 15—20 cm langes Stück einer Glasröhre von 5 mm Dicke, das man sich vorher mit einer kantigen scharfen Feile von einer langen Röhre abgeschnitten hat, mit jeder

Hand an einem Ende und dreht es, indem man es horizontal hält, andauernd zwischen den Fingerspitzen in einer Gebläseflamme, bis es in der geglühten Zone vollständig weich geworden ist. Dann zieht man, indem man die Röhre aus der Flamme nimmt (!), plötzlich die Enden mit den Fingern nach beiden Seiten weit auseinander und hat nun zwischen den beiden Enden der Röhre ein langes feines Kapillarrohr, dessen Lumen in der Mitte am feinsten ist und nach den Enden zu sich allmählich erweitert. Es sei nochmals besonders betont, daß man unmittelbar (!) nach dem Herausnehmen aus der Flamme, aber niemals in der Flamme selbst die beiden Röhrenenden auseinanderziehen muß, wenn man eine Kapillarröhre erhalten will.

Will man dagegen Glasröhren mit kürzeren kapillaren Spitzen haben, so zieht man die glühende und eben gut biegsam, aber nicht zu weich gewordene Röhre innerhalb der Flamme auseinander. Dann schmilzt das Verbindungsstück der beiden Enden durch und man hat zwei isolierte Glasröhren mit mehr oder weniger langen kapillaren Spitzen, je nachdem man das Glas weniger oder mehr hat weich werden lassen.

Positive und negative Chemotaxis von Paramaecium. Optimum. Für die folgenden Versuche wird eine in der oben beschriebenen Weise durch Benutzung der negativen Geotaxis gereinigte Paramäcienkultur verwendet. Auf einen Objektträger werden quer zwei Stücke eines wie eben angegeben hergestellten, knapp 1 mm dicken kapillaren Glasfadens gelegt. Dann werden mehrere Tropfen des paramäcienhaltigen Wassers auf den Objektträger zwischen die Glasfäden gebracht und ein langes Deckglas darüber gelegt, so daß der ganze Raum unter dem Deckglas bis zu den Rändern mit dem Wasser erfüllt ist, in dem sich die Paramäcien gleichmäßig zerstreut umherbewegen. Das Ganze ist auf einer dunklen Unterlage zu beobachten. Nunmehr wird mit einer zu einer feinen (0,5 mm dicken) Spitze ausgezogenen Tropfpipette, die mit der Spitze zwischen Deckglas und Objektträger bis in die Mitte der Flüssigkeit eingeführt wird, ein Tropfen einer 0,001 proz. H_2SO_4-Lösung in die Schicht gebracht (Fig. 12 *a*), nicht zu viel und ganz vorsichtig, damit der Tropfen möglichst in der Mitte des Wassers lokalisiert bleibt. Dann wird die Kapillarpipette wieder herausgezogen. Es ist Vorsicht beim Einführen wie beim Herausziehen derselben nötig, damit das Deckglas nicht etwa abgehoben wird. Sehr bald, innerhalb von 5 Minuten, beobachtet man nun eine Ansammlung der Paramäcien innerhalb des eingeführten H_2SO_4-Tropfens, so daß schließlich fast alle Individuen an der Stelle des Tropfens versammelt sind (Fig. 12 *b*). Positive Chemotaxis nach H_2SO_4.

Darauf wird mit einem neuen Objektträger und einer neuen Paramäcienmenge derselbe Versuch in ganz gleicher Weise mit einer

0,01 proz. H_2SO_4-Lösung gemacht. Der Erfolg ist ein ganz anderer. Die Stelle, an welcher der H_2SO_4-Tropfen eingeführt ist, wird jetzt von den Paramäcien verlassen und bleibt ganz frei. Dagegen sammeln sich die Paramäcien an den Rändern des H_2SO_4-Tropfens zu einem mehr oder weniger regelmäßig gestalteten weißen Ringe an (Fig. 12 *c*). Negative Chemotaxis nach H_2SO_4.

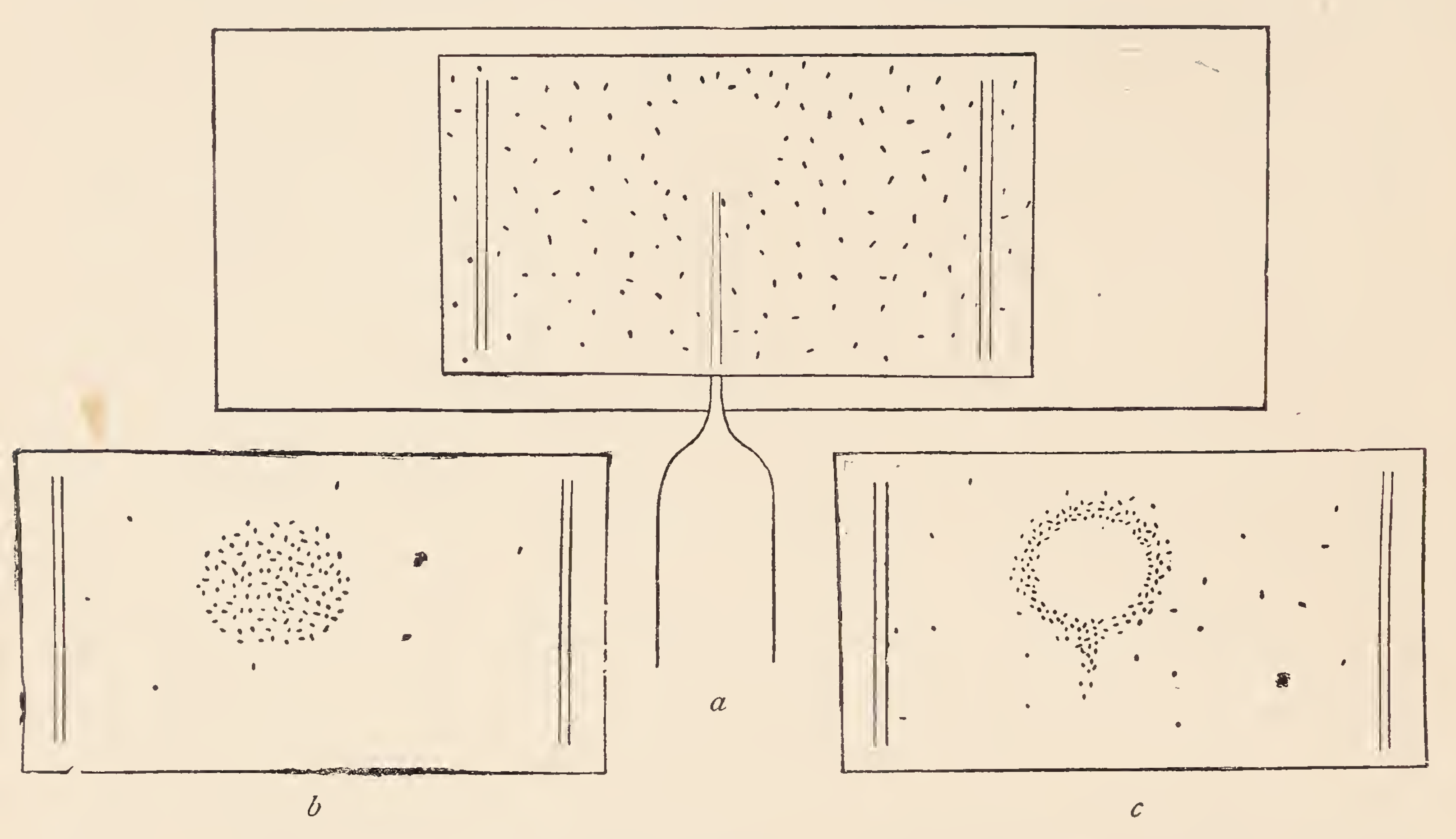


Fig. 12. Chemotaxis von Paramaecium. *a* Einführung eines Tropfens zwischen Deckglas und Objektträger, *b* positive Chemotaxis nach stark verdünnter H_2SO_4-Lösung, *c* negative Chemotaxis gegen eine stärker konzentrierte H_2SO_4-Lösung. Nat. Größe.

Die Versuche zeigen, daß der chemische Reiz in schwacher Konzentration positiv, in stärkerer negativ chemotaktisch wirkt und daß ein Optimum der Konzentration besteht, unterhalb dessen die Paramäcien positiv, oberhalb dessen sie negativ chemotaktisch sind. Das Optimum liegt im zweiten Versuch da, wo die ringförmige Ansammlung stattgefunden hat. Innerhalb des Ringes ist die Konzentration höher, außerhalb geringer.

Positive Chemotaxis der Leukocyten nach Bakterienprodukten. Von einer Reinkultur des Staphylococcus pyogenes aureus oder albus (aus dem hygienischen Institut zu besorgen) wird durch Auffüllen von einigen Kubikzentimetern Wasser auf das Kulturreagenzglas und tüchtiges Umschütteln ein Extrakt gemacht und in ein flaches Uhrschälchen gegossen. Darauf wird ein langer kapillarer Glasfaden ausgezogen und mit dem Extrakt gefüllt. Die Füllung geschieht von selbst durch Kapillarität. Man taucht den Glasfaden mit einem Ende in das Uhrschälchen ein und verfolgt das Steigen der Flüssigkeitsgrenze, das anfangs sehr schnell, später langsamer

erfolgt (genau aufpassen!). Dann wird ein etwa 20 cm langes Stück aus der gefüllten Röhre herausgebrochen und mit dem einen Ende in eine Bunsenflamme gehalten. Mit einem kleinen knatternden Geräusch schmilzt das Ende in der Flamme zu, indem die Flüssigkeit durch die Hitze ein Stück weit von der Schmelzstelle vertrieben wird, um aber sofort beim Abkühlen zurückzukehren. Ist das letztere geschehen, soweit es überhaupt möglich ist, so wird ein 15 mm langes Stück des zugeschmolzenen Endes abgebrochen und mit der Öffnung sofort in den Extrakt auf dem Uhrschälchen gelegt, damit keine Luft in die Öffnung des Röhrchens eindringen kann. Dann wird von dem übrigen Stück des gefüllten Kapillarfadens wiederum das Ende an der Bruchstelle zugeschmolzen und ein zweites Stück von 15 mm Länge abgebrochen usf. So werden etwa 5—10 kurze, mit Bakterienextrakt gefüllte Kapillarröhrchen hergestellt, die alle am einen Ende zugeschmolzen, am anderen offen sind. Diese Röhrchen werden nun mit den gleichartigen Enden nach gleicher Richtung nebeneinander gelegt und durch einen Faden zu einem kleinen Bündel zusammengebunden. Die Enden des Fadens läßt man 2—3 cm lang stehen und legt das Bündel wieder mit den offenen Röhrenenden in den Bakterienextrakt.

Sodann wird bei einem Kaninchen ein etwa 7—8 cm großer Fleck der seitlichen Rückenhaut mit der Schere geschoren, wobei die Haare nicht mit den Fingern der linken Hand hochgezogen werden dürfen, da man sonst leicht mit der Schere in eine Hautfalte schneidet. Ist die Stelle glatt geschoren und mit einem feuchten Wattebausch abgewischt, so wird die Haut derselben zwischen Zeigefinger und Daumen der linken Hand durch Auflegen dieser Finger gespannt und mit einem scharfen Skalpell ein etwa 4 cm langer Schnitt durch die Haut gemacht. Tritt dabei eine Hautblutung auf, so ist diese sorgfältig aber fest mit angefeuchteter und stark ausgedrückter Verbandwatte abzutupfen. Nunmehr wird mit dem Stiel des Skalpells das Unterhautbindegewebe unter den Rändern des Hautschnittes höhlenartig ein wenig gelockert, wobei etwaige Blutungen immer sorgfältig zu stillen sind, und dann wird das Bündel von Kapillarröhrchen unter den Wundrand in die Höhle geschoben. Die Fäden dienen dazu, später das Bündel leichter wieder herausziehen zu können. Schließlich wird die Wunde mit einer krummen Nadel wieder vernäht, wozu 3—5 Fäden genügen.

Nach 12—24 Stunden kann die Wunde wieder geöffnet und das Kapillarbündel herausgenommen werden. Die Kapillarröhrchen werden einzeln äußerlich mit den Fingern gut abgewischt, auf einen Objektträger in einen Tropfen Glyzerin gelegt und mit einem Deckglas bedeckt. Schon mit bloßem Auge bemerkt man, daß die Öffnung

der Röhren mit einem weißen Pfropfen erfüllt ist, der nach innen zu immer lichter wird (Fig. 13). Unter dem Mikroskop überzeugt man sich, daß die weiße Masse aus Leukocyten besteht, die in großen Scharen in die Kapillarröhre eingewandert sind. Man hat hier eine künstliche Eiterung im Kapillarröhrchen durch positive Chemotaxis der Leukocyten veranlaßt.

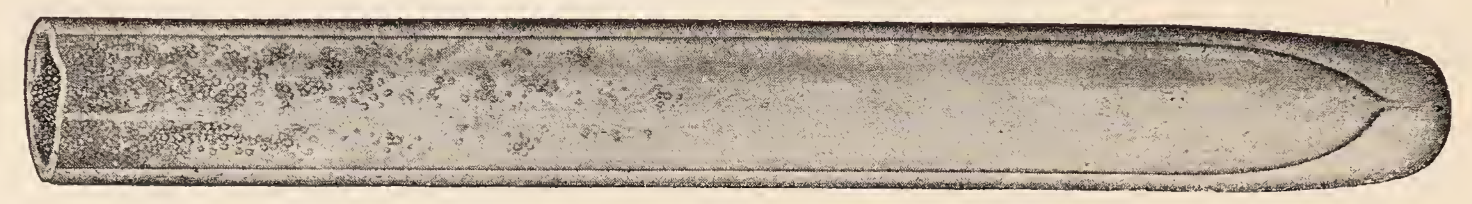


Fig. 13. Chemotaxis von Leukocyten nach Bakterienextrakt in einer Kapillarröhre. Mikroskopisch.

Die Wunde des Tieres wird wieder vernäht und verheilt sehr bald. Der Versuch schadet dem Tiere nichts.

Kathodische Galvanotaxis von Paramaecium. Vorbereitung. Eine Chromsäure-Tauchbatterie oder eine kleine Akkumulatoren-Batterie (siehe letztes Kapitel), die es gestattet, die Zahl der benutzten Elemente zu variieren, wird als Stromquelle verwendet. Von den beiden Poldrähten wird der eine durch Vermittelung eines Quecksilberschlüssels (siehe hinten), der andere direkt zu je einer der beiden in der Richtung des isolierenden Bügels liegenden Klemmschrauben einer POHLschen Wippe (siehe hinten) geleitet. Von einem der beiden anderen Klemmschraubenpaare gehen neue Drähte weiter zu den Klemmschrauben zweier unpolarisierbaren Pinselelektroden (siehe hinten). Das beistehende Schema (Fig. 14) gibt die Anordnung an. Damit ist die

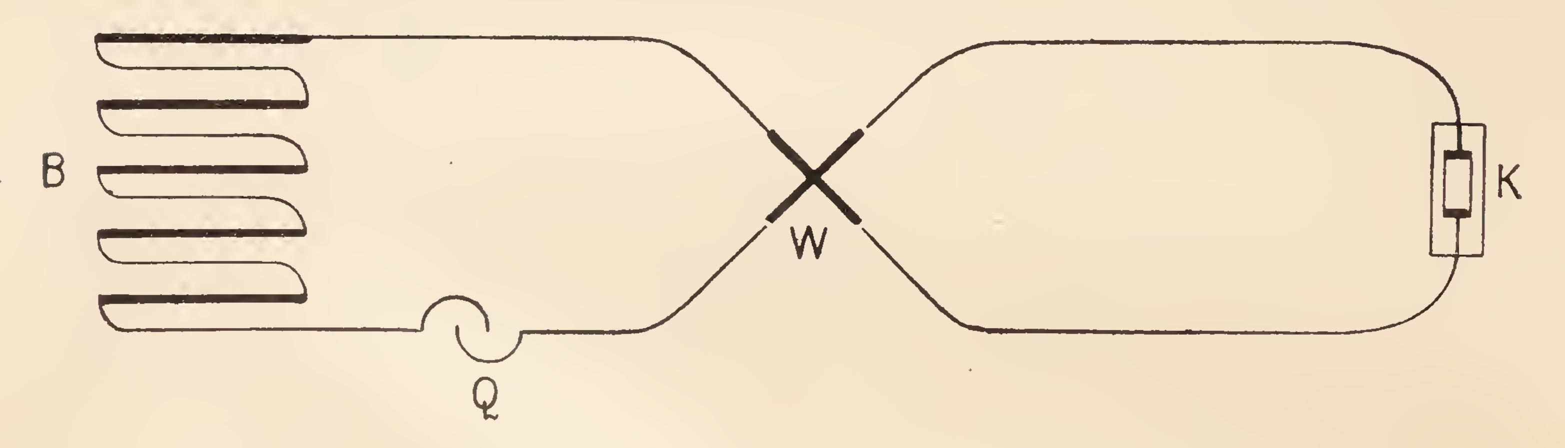


Fig. 14. Schema der Versuchsanordnung für die Galvanotaxis.
B Galvanische Batterie, *Q* Quecksilberschlüssel, *W* POHLsche Wippe, *K* Objektträgerkästchen für Paramäcien.

Reizvorrichtung für die galvanische Reizung gewonnen. Die Stromstärke muß nun so gewählt werden, daß nach Einschaltung der paramäcienhaltigen Flüssigkeit eine deutliche Galvanotaxis zu sehen ist. Das ist der Fall, wenn die Stromintensität etwa 0,3—0,4 Milliampères beträgt und wird am besten durch den Erfolg selbst ausprobiert.

Versuch im Uhrschälchen. Von einer durch Benutzung der negativen Geotaxis gereinigten Paramäcienkultur werden 2—3 ccm in ein flaches Uhrschälchen gebracht und auf einen Klotz mit dunklem Grunde gestellt. Dann werden die Pinselelektroden, nachdem sie gut mit Kulturwasser abgespült sind, mit ihren äußersten Spitzen etwa 2 cm voneinander entfernt in die Flüssigkeit eingetaucht, so daß die Pinselspitzen noch etwas Abstand vom Flüssigkeitsrande haben. Schließlich wird der Strom mit dem Quecksilberschlüssel geschlossen. Ist die Stromstärke richtig, so wenden sich nach der Schließung des Stromes sämtliche Individuen mit dem Vorderende nach der Kathode und schwimmen unter langgezogenen flachen Spiraldrehungen um ihre lange Körperachse schnell nach der Kathode zu. Die Beobachtung kann mit bloßem Auge geschehen. Dabei bemerkt man, daß die Infusorien nicht alle in gerader Richtung, sondern in der Richtung der Stromkurven, die zwischen Anode und Kathode verlaufen, nach der Kathode hinüberschwimmen. Hier angekommen, sammeln sie sich in der Nähe der Kathode, und zwar zum größten Teil hinter derselben an und schwimmen in dieser Gegend umher. Wendet man jetzt die Richtung des Stromes, so schwimmen alle Infusorien in geschlossener Schar wie auf Kommando von der bisherigen Kathode weg nach der neuen Kathode hinüber. Man kann den Versuch beliebig oft wiederholen. Eine Ermüdung der Infusorien beim galvanotaktischen Schwimmen konnte bisher auch bei stundenlanger Einwirkung des Stromes nicht nachgewiesen werden.

Ist die Stromstärke zu gering, so ist keine deutliche Galvanotaxis zu sehen. Einzelne Individuen schwimmen wohl nach der Kathode, andere bewegen sich unregelmäßig in der Flüssigkeit zwischen den Polen umher. Wird der Strom mehr und mehr verstärkt, so wenden sich immer mehr Individuen nach der Kathode, bis schließlich alle an der Galvanotaxis teilnehmen. Ist dagegen die Stromintensität zu groß, so schwimmen die Infusorien nur äußerst langsam in sehr steilen Spiralbahnen mit großen seitlichen Exkursionen und fortwährenden Rückzuckungen vorwärts, als wenn sie gegen einen heftigen Widerstand ankämpfen müßten. Bei zu großer Stromstärke tritt ein Zerfall der Infusorienkörper ein.

Versuch im Objektträgerkästchen unter dem Mikroskop. Um die Galvanotaxis unter dem Mikroskop beobachten zu können, benutzt man ein offenes Kästchen, das auf dem Objektträger in folgender Weise hergestellt ist. Zwei 1,5—2 cm lange vierkantige Streifen von porösem Ton (aus einer Tonzelle gesägt und gefeilt), mit einem Querschnitt von 2—3 qmm, sind mit einem Kolophonium-Wachskitt parallel in einem Abstand von 1,5 cm auf den Objektträger gekittet und an ihren Enden durch einen Wall von demselben Kitt zu

einem ringsherum abgegrenzten flachen Trog verbunden (Fig. 15). In diesen Trog werden mit einer Tropfpipette einige Tropfen einer reinen Paramäcienkultur gebracht. Dann wird der Objektträger unter das Mikroskop gelegt. Nachdem die porösen Tonleisten gut vom Wasser durch-

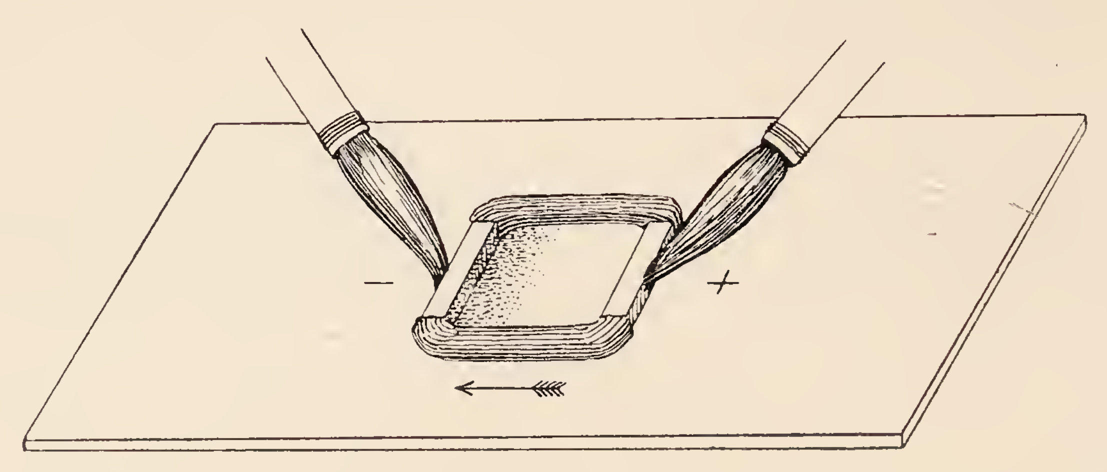


Fig. 15. Objektträgerkästchen für galvanische Reizung. Der Pfeil gibt die Schwimmrichtung der Paramäcien an, die sich am negativen Pol ansammeln. Nat. Größe.

tränkt sind, werden die Pinsel der unpolarisierbaren Elektroden dicht an die Tonleisten angeschoben, aber so, daß sie nicht über dieselben hinweg die Flüssigkeit im Kästchen berühren. Wird jetzt der Strom geschlossen, so schwimmen die sämtlichen Infusorien in gerader Richtung und parallel auf die Kathodenleiste zu, wo sie sich ansammeln, um bei Wendung des Stromes in geschlossener Reihe die gegenüberliegende Leiste aufzusuchen, usw. Man sieht unter dem Mikroskop, wenn man die Mitte zwischen beiden Leisten eingestellt hat, wie kurze Zeit nach der Wendung einzelne Individuen, dann mehr und immer mehr in großen Scharen wie Fische, sämtlich in gleicher Richtung, durch das Gesichtsfeld schwimmen (Fig. 16), bis schließlich die letzten Nachzügler ebenfalls passiert sind und das Gesichtsfeld wieder vollkommen infusorienfrei erscheint.

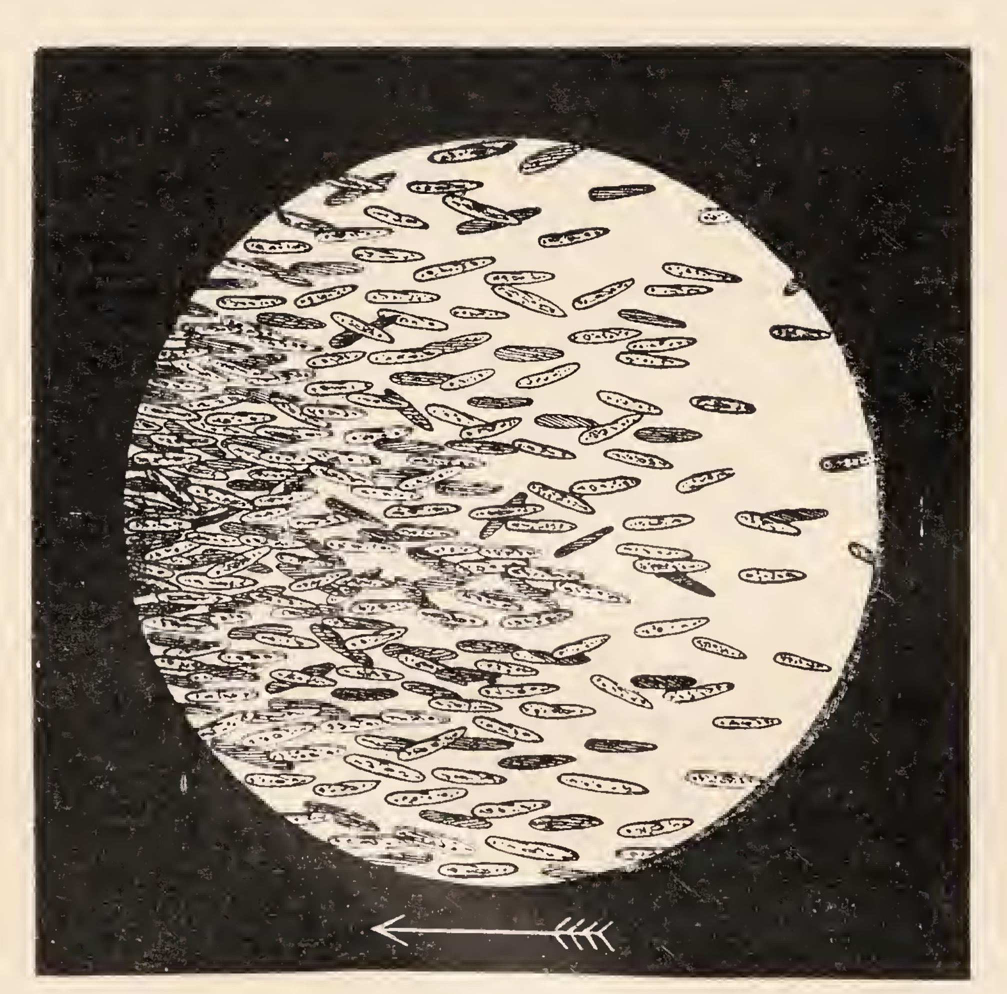


Fig. 16. Galvanotaxis von Paramaecium bei schwacher Vergrößerung.

Die kathodische Galvanotaxis beruht auf einer kontraktorischen Erregung des Wimperschlages von der Anodenseite her.

II. Ernährung.

A. Verdauung.

Unter Verdauung versteht man die Überführung der festen und unlöslichen Eiweißkörper, Kohlehydrate und Fette in lösliche und diffusible Formen. Diese Überführung geschieht durch hydrolytische Spaltung (Spaltung unter Wasseraufnahme) der komplexen Verbindungen in einfachere Moleküle und wird besorgt durch die Enzyme, die von den Verdauungsdrüsen (Mundspeicheldrüsen, Magendrüsen, Pankreas, Darmdrüsen) in ihren Sekreten abgeschieden werden. Die Speicheldrüsen liefern das Ptyalin zur Verdauung der Stärke und des Glykogens (Spaltung in Dextrin und Maltose); die Magendrüsen produzieren das Pepsin zur Verdauung der Eiweißkörper in saurer Lösung (Spaltung in primäre und sekundäre Albumosen und in Peptone) und das Lab oder Chymosin zur speziellen Verdauung des Kaseïnkalkes (Spaltung in Parakaseïnkalk, Eiweiß und Pseudonukleïn); das Pankreas liefert das Ptyalin zur Verdauung der Stärke und des Glykogens wie die Mundspeicheldrüsen, ferner das Trypsin zur Verdauung der Eiweißkörper in alkalischer Lösung (Spaltung in sekundäre Albumosen, Peptone und Aminosäuren) und schließlich das Steapsin (die Lipase) zur Verdauung der Fette (Spaltung in Fettsäuren und Glyzerin); die Darmdrüsen endlich liefern das Erepsin zur weiteren Spaltung der aus der Eiweißverdauung entstandenen Peptone (Spaltung in Aminosäuren), die Maltase zur Spaltung der aus der Stärke und dem Glykogen hervorgegangenen Maltose (in Traubenzucker); die Invertase (Invertin) zur Spaltung des Rohrzuckers (in Fruchtzucker und Traubenzucker) und die Laktase zur Spaltung des Milchzuckers (in Galaktose und Traubenzucker). Schließlich spielt auch die Galle, das Sekret der Leber als Verdauungssaft eine Rolle für die Verdauung der Fette, obwohl bisher kein fettspaltendes Enzym in ihr nachgewiesen worden ist.

1. Die Enzyme als Katalysatoren.

Theoretische Vorbemerkungen. Die chemische Konstitution der Enzyme ist unbekannt. Ihre charakteristische Wirkung besteht darin, daß sie unbegrenzte Mengen der Stoffe, auf die sie einwirken, zersetzen können, ohne selbst eine Verminderung ihrer Masse dabei zu erfahren. Derartige Prozesse bezeichnet man in der Chemie als katalytische Prozesse und die Stoffe, welche sie vermitteln, als Katalysatoren. Als einfaches Paradigma solcher katalytischen Prozesse kann die Spaltung des Wasserstoffsuperoxyds H_2O_2 durch Platinmoor dienen. Bringt man Platinmoor mit H_2O_2 in Berührung, so wird das H_2O_2 in H_2O und O gespalten, und es erfolgt eine starke Gasentwickelung von O_2. Man stellt sich den Vorgang so vor, daß das Pt das zweite O-Atom, das im H_2O_2-Molekül locker gebunden ist, an sich zieht und so eine Verbindung Pt_nO_y bildet, während gleichzeitig H_2O entsteht. In der zweiten Phase des Vorganges tritt der an das Platin gebundene O mit dem zweiten O-Atom anderer H_2O_2-Moleküle in Verbindung und bildet molekularen Sauerstoff O_2, während das Platin wieder frei wird und andererseits wieder H_2O entsteht. Dieser Prozeß wiederholt sich so lange, als noch unzersetzte H_2O_2-Moleküle vorhanden sind:

$$1.\ y\,H_2O_2 + n\,Pt = Pt_nO_y + y\,H_2O$$
$$2.\ Pt_nO_y + y\,H_2O_2 = n\,Pt + y\,H_2O + y\,O_2.$$

Der Prozeß beruht also darauf, daß der Katalysator, in diesem Falle das Platin, mit einem Bestandteil der Verbindung, auf die er einwirkt, ein Zwischenprodukt bildet, das dann wieder zerfällt usw. Dabei wird die Verbindung, auf die der Katalysator einwirkt, zerlegt. Im vorliegenden Falle handelt es sich um eine Übertragung von O durch das Platinmolekül. Dazu bietet ein vollkommenes Analogon die Gruppe der Enzyme, die als Oxydasen bezeichnet werden und die ebenfalls durch Übertragung von O oxydative Spaltungen vermitteln. Durch hohe Temperaturen können die organischen Enzyme zerstört und unwirksam gemacht werden. Dasselbe geschieht durch Zusatz bestimmter Gifte. Auch die H_2O_2-Katalyse durch Platin kann durch Zusatz von Giften gelähmt werden, wie der Stoffwechsel der lebendigen Substanz, zu dem die katalytischen Prozesse durch die fortwährende Bildung und den Zerfall eines Zwischenproduktes ein einfaches Gegenstück liefern.

Katalyse des Wasserstoffsuperoxyds durch Platinmoor. Lähmung des Prozesses durch Schwefelammonium. In zwei trockene Reagenzgläser wird je eine kleine Spur Platinmoor getan. Zu der einen Probe werden einige Tropfen Ammoniumhydrosulfid, zu der anderen einige Tropfen Wasser getan. Dann werden zu beiden 10 ccm einer 1proz. H_2O_2-Lösung hinzugesetzt. In beiden findet eine Gasentwicklung statt: in dem unvergifteten stürmisch, in dem mit $(NH_4)SH$ vergifteten nur äußerst schwach. Von der Tatsache, daß das entstehende Gas O_2 ist, überzeugt man sich durch Hineinhalten eines glimmenden Streichholzes in die Öffnung des Reagenzglases. Das Streichholz beginnt mit leuchtender Flamme zu brennen.

Nach dem Versuch werden die Reagenzgläser senkrecht stehend aufbewahrt. Das Platinmoor, das sich zu Boden gesetzt hat, wird später gesammelt, getrocknet und im Platintiegel ausgeglüht.

2. Mundspeichel.

Theoretische Vorbemerkungen. Der Mundspeichel ist das vereinigte Sekret der drei großen Mundspeicheldrüsen (Parotis, Sublingualis und Submaxillaris) und der Schleimhaut der Mundhöhle. Er bildet eine schwach alkalische, klare, fadenziehende Flüssigkeit, die morphologische Elemente enthält. Ihre wesentlichen Bestandteile sind folgende:

Morphologische Bestandteile:	Gelöste Bestandteile:
Epithelzellen der Mundschleimhaut	Mucin
Abgestorbene Leukozyten (sog. Speichelkörperchen)	Ptyalin
Parasiten (Leptothrix buccalis)	Salze
Speisereste	

Das Mucin macht den Speisebissen schlüpfrig und gleitbar, so daß er leicht durch die enge Speiseröhre hindurchgleiten kann. Das Ptyalin spaltet die Stärke und das Glykogen in Dextrin und Maltose. Eine weitere Spaltung der Maltose findet unter dem Einfluß des Ptyalins nicht statt. Erst die Maltase des Darmsaftes spaltet die Maltose weiter in Traubenzucker.

Wirkung des Ptyalins:
Stärke oder Glykogen
Dextrin
|
Maltose

Stärkeverdauung durch Mundspeichel. Vorbereitung. Ein Thermostat wird bis auf 40° C angeheizt. Dann wird eine Stärkelösung hergestellt, indem 100 ccm destillierten Wassers mit einer reichlichen Messerspitze voll Stärkepulver kalt aufgesetzt und zum Sieden erwärmt werden. Während die Stärkelösung abkühlt, wird Speichel in kleine Becher- oder Reagenzgläser sezerniert. Man verfährt dabei folgendermaßen: Man öffnet den Mund und läßt ihn unbewegt mit vorwärts gehobenen Lippen offen, indem man den Kopf beugt und die Unterlippe über das Gefäß bringt. Nunmehr führt man ganz hinten im Pharynx eine Würgekontraktion aus, ohne aber die Mundhöhle oder Zunge selbst zu bewegen. Dann fließt ein klares, fadenziehendes Sekret in das Gefäß ab. Mancher soll die Sekretion durch die lebhafte Vorstellung einer leckeren Speise unterstützen können. Macht man indessen mit dem Munde und der Zunge Kaubewegungen, so wird das Sekret schaumig, was zu vermeiden ist.

Ausführung. Ehe man die Stärkelösung mit dem Speichel vermischt, überzeugt man sich 1. daß die Lösung die typische Stärkereaktion gibt, indem man zu einer stark verdünnten Probe derselben einen Tropfen Jodjodkaliumlösung hinzufügt und Blaufärbung erhält; 2. daß die Lösung nicht reduziert, indem man mit einer kleinen Menge der Lösung die TROMMERsche Probe ausführt und keinen roten Niederschlag von Cu_2O entstehen sieht. Alsdann verrührt man die Stärkelösung in einem Becherglase mit dem Speichel und setzt sie in den Thermostaten. Nach etwa 3—5 Minuten entnimmt man 5 ccm der Lösung in ein Reagenzglas, kühlt ab und prüft, ob bei Zusatz von einem Tropfen Jodlösung bereits die Violettfärbung des Dextrins auftritt. Ist das noch nicht der Fall, so läßt man die Lösung im Thermostaten stehen, und prüft von Zeit zu Zeit, bis die Dextrinreaktion deutlich zum Vorschein kommt. Wenig später entnimmt man wieder eine Probe, macht sie mit Alkalilauge alkalisch und setzt einige Tropfen verdünnter $CuSO_4$-Lösung hinzu. Beim Kochen liefert die Lösung jetzt einen positiven Ausfall der TROMMERschen Probe. Der reduzierende Zucker, der aus der Spaltung der Stärke hervorgegangen ist, ist Maltose.

3. Magensaft.

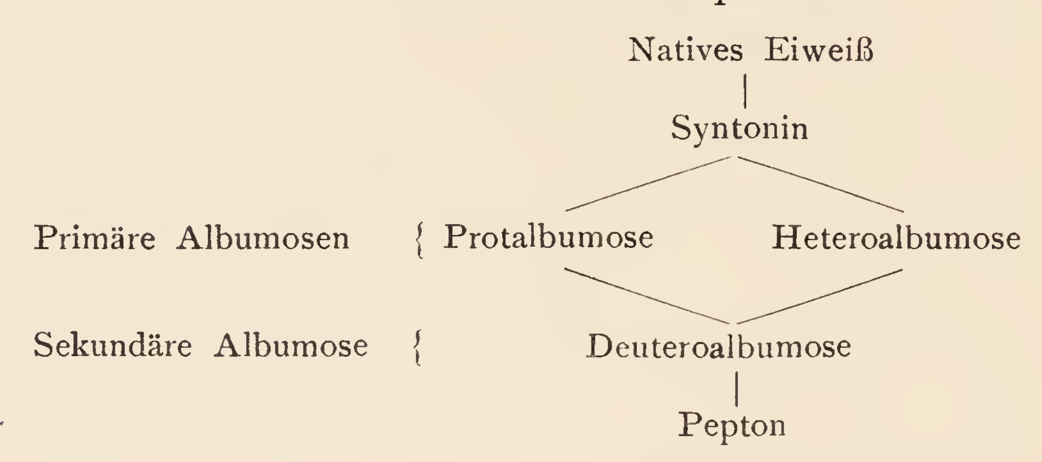
Theoretische Vorbemerkungen. Der Magensaft ist das Sekret der Fundusdrüsen und Pylorusdrüsen. Die letzteren unterscheiden sich histologisch von den ersteren dadurch, daß sie keine Belegzellen haben und

physiologisch dadurch, daß sie keine HCl produzieren. Die wesentlichen Bestandteile des Magensaftes sind außer dem Schleim und den Salzen:

Salzsäure 0,2 Proz.
Pepsin
Labenzym.

Die HCl wirkt einerseits desinfektorisch auf die Speisen, andererseits liefert sie die saure Reaktion für die Wirkung des Pepsins. Die Enzyme des Magensaftes wirken nur in saurer Reaktion und spalten nur die Körper der Eiweißgruppe.

Das Pepsin spaltet die nativen Eiweißkörper, nachdem sie durch die HCl in Acidalbumin (Syntonin) umgewandelt sind, in primäre und sekundäre Albumosen und schließlich in Peptone:



Diese verschiedenen Produkte der Eiweißverdauung unterscheiden sich voneinander durch ihre Löslichkeit, Fällbarkeit, Diffusibilität und Koagulationsfähigkeit, und zwar so, daß vom nativen Eiweiß über die Albumosen bis zum Pepton hin die Diffusibilität zu-, die Fällbarkeit und die Koagulationsfähigkeit abnimmt:

Natives Eiweiß: Nicht diffusibel, löst sich in neutralen wässerigen Flüssigkeiten, koaguliert beim Kochen, liefert alle Fällungsproben (s. oben p. 3), durch Ammoniumsulfat $(NH_4)_2SO_4$ aussalzbar.

Syntonin: Nicht diffusibel, löslich nur in alkalischen und sauren Flüssigkeiten, koaguliert nicht beim Kochen, durch Ammoniumsulfat aussalzbar.

Primäre Albumosen: Diffundieren langsam, sind in neutralen, alkalischen und sauren wässerigen Flüssigkeiten gut löslich, koagulieren nicht beim Kochen, werden durch Ammoniumsulfat sowie durch völlige Sättigung der Lösung mit NaCl ausgesalzen und durch HNO_3 sowie $CuSO_4$ gefällt. Die Protalbumose ist in reinem Wasser, die Heteroalbumose nur bei Anwesenheit geringer Salzmengen löslich.

Sekundäre Albumosen: Diffundieren leichter, lösen sich in allen wässerigen Flüssigkeiten, koagulieren nicht, werden durch NaCl nicht mehr ausgesalzen, wohl aber durch Ammoniumsulfat. Sind nicht mehr durch HNO_3 und $CuSO_4$ fällbar.

Peptone: Leicht diffusibel und leicht löslich in allen wässerigen Flüssigkeiten, koagulieren nicht, werden durch Ammoniumsulfat nicht mehr ausgesalzen und durch HNO_3 und $CuSO_4$ nicht mehr gefällt.

Ihre Eiweißnatur dokumentieren aber die Peptone sowie auch die Zwischenprodukte der Eiweißverdauung noch durch ihre Fällbarkeit mit

Sublimat, Phosphorwolframsäure, Gerbsäure und den positiven Ausfall der Biuretreaktion (mehr roter Farbenton) sowie der MILLONschen Probe.

Das Lab spaltet das Kaseïn der Milch. Der in der Milch gelöste Kaseïnkalk wird zunächst in den ebenfalls noch löslichen Parakaseïnkalk übergeführt, der durch weitere Aufnahme von Kalk zu unlöslichem Parakaseïnkalk wird und ausfällt (Labgerinnung der Milch). Der unlösliche Parakaseïnkalk unterliegt der weiteren Spaltung in Eiweiß und ein phosphorhaltiges Pseudonukleïn. Das Eiweiß wird unter dem Einfluß des HCl-Pepsins verdaut nach dem obigen Schema. Es entstehen primäre und sekundäre Albumosen (Kaseosen) und Kaseïnpepton.

Fibrinverdauung mit künstlichem Magensaft. Vorbereitung: Der Thermostat wird auf 40° C eingestellt. Dann wird ein künstlicher Magensaft gemacht, indem eine reichliche Messerspitze voll käuflichen Pepsins in je 50 ccm destillierten Wassers gelöst wird. Die filtrierte Lösung wird mit dem gleichen Volumen 0,4 Proz. HCl vermischt und im Thermostaten erwärmt. Eine größere Anzahl durch langes Wässern in fließendem Wasser vollständig vom Blutfarbstoff befreiter und völlig weißer Fibrinflocken aus geschlagenem Rinderblut, die dauernd in Glyzerin aufbewahrt werden können, werden nochmals gut ausgewaschen.

Versuch im Becherglas. In einem kleinen Becherglas werden zu dem erwärmten künstlichen Magensaft einige Fibrinflocken getan und beobachtet. Man findet, daß die zunächst ganz weißen und undurchsichtigen Flocken allmählich aufquellen und vom Rande her durchsichtig werden. Dabei lösen sie sich von der Peripherie her langsam mehr und mehr unter Schlierenbildung in der Flüssigkeit auf. Es wird nun eine größere Anzahl von Flocken in den künstlichen Magensaft getan und in den Thermostaten gestellt. In der nächsten Praktikumsstunde wird dieses Verdauungsgemisch geprüft. Die Fibrinflocken sind vollständig verschwunden, statt dessen ist Eiweiß in der Flüssigkeit gelöst. Man überzeugt sich davon durch die Biuretprobe und durch die MILLONsche Probe.

Bedingungen der Eiweißverdauung durch Magensaft. Vier Reagenzgläser werden mit einer numerierten Etikette versehen und in folgender Weise beschickt: Nr. I mit 10 ccm 0,2 Proz. HCl, Nr. II mit 10 ccm Pepsinlösung (1 Messerspitze Pepsinpulver auf 100 ccm H_2O wie oben), Nr. III mit 10 ccm Pepsinlösung, die durch einige Tropfen Na_2CO_3-Lösung alkalisch gemacht ist, Nr. IV endlich mit einem Gemisch von 5 ccm 0,4 Proz. HCl und 5 ccm Pepsinlösung. In jedes Reagenzglas wird eine Fibrinflocke getan. Dann werden alle 4 Reagenzgläser in einem Becherglase zusammen in den Thermostaten gestellt und nach ½ Stunde wieder untersucht. Es zeigt sich folgendes:

I	II	III	IV
0,2 Proz. HCl	Pepsinlösung	Pepsinlösung alkalisch	Pepsinlösung sauer
Fibrinflocke aufgequollen, aber nicht gelöst.	Fibrinflocke unverändert.	Fibrinflocke durchsichtiger, sonst unverändert.	Fibrinflocke vollständig gelöst.

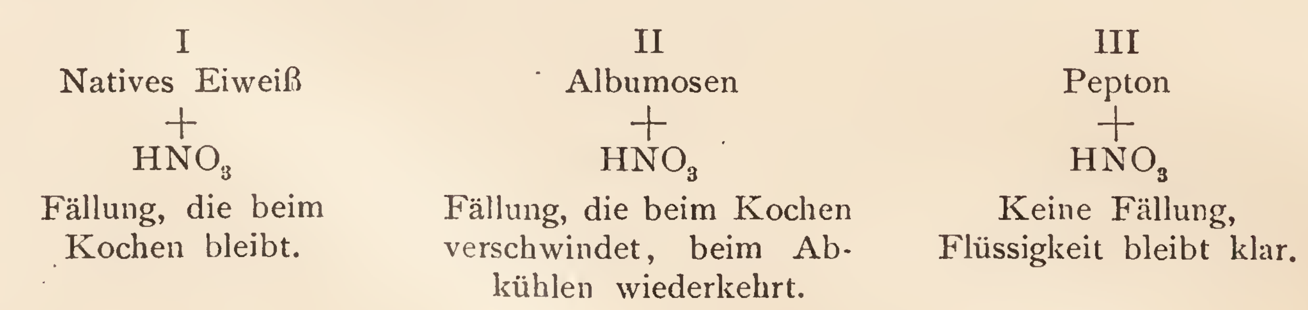
Die Versuchsreihe beweist, daß weder HCl noch Pepsin allein Eiweiß verdauen kann, daß auch Pepsin in alkalischer Reaktion keine Verdauung herbeiführt, sondern nur Pepsin in saurer Lösung.

Differenzierung von nativem Eiweiß, Albumosen und Peptonen. Vorbereitung. Es wird eine Eiweißlösung hergestellt wie oben p. 2. Ferner wird aus dem im Handel käuflichen sog. WITTE-Pepton, das in Wirklichkeit ein Albumosengemisch mit etwas Pepton vorstellt, eine 1proz. Lösung gemacht. Die Hälfte davon wird 24 Stunden vor dem Versuch zur weiteren Verdauung bis zu Pepton mit HCl-Pepsin versetzt und in den Thermostaten gebracht.

Kochprobe. Drei Reagenzgläser werden in folgender Weise beschickt: Nr. I mit 5 ccm der nativen Eiweißlösung, Nr. II mit 5 ccm der Albumosenlösung (reine WITTE-Peptonlösung), Nr. III mit 5 ccm der Peptonlösung (verdaute WITTE-Peptonlösung). Alle drei Proben werden mit einem Tropfen 10proz. Na-Cl-Lösung versetzt, mit einem Tropfen verdünnter Essigsäure angesäuert und dann gekocht. Es ergibt sich bei

I	II	III
Natives Eiweiß	Albumosen	Pepton
Koagulation	keine Koagulation	keine Koagulation

Salpetersäurefällung. Drei Reagenzgläser werden wiederum mit denselben Lösungen beschickt wie oben. Dann wird jede Lösung mit dem gleichen Volumen konzentrierter NaCl-Lösung versetzt. Darauf werden zu jeder Probe einige Tropfen (nicht zuviel!) konzentrierter HNO_3 zugefügt. Der Erfolg ist folgender:



I	II	III
Natives Eiweiß + HNO_3	Albumosen + HNO_3	Pepton + HNO_3
Fällung, die beim Kochen bleibt.	Fällung, die beim Kochen verschwindet, beim Abkühlen wiederkehrt.	Keine Fällung, Flüssigkeit bleibt klar.

Eiweißnatur der Peptone. Vorbereitung. Zu den Reaktionen wird eine 1proz. WITTE-Peptonlösung, die 24 Stunden lang im Thermostaten mit HCl-Pepsin verdaut ist, benutzt und zum Vergleich sowie zur Repetition eine Eiereiweißlösung (siehe oben p. 2). Immer 2 Reagenzgläser werden mit 5 ccm von je einer der Lösungen gefüllt und die folgenden Proben an beiden Lösungen angestellt:

Fällung mit Sublimat.

Fällung mit Phosphorwolframsäure.

Biuretprobe. (Natives Eiweiß violett, Pepton mehr rötlich. Peptonlösung braucht mehr Alkalilauge, weil die HCl erst neutralisiert werden muß.)

MILLONsche Probe.

Alle diese Eiweißproben fallen auch bei der Peptonlösung positiv aus. Die Peptone sind also noch Eiweißkörper, aber mit kleineren und einfacheren Molekülen.

Kaseïnspaltung durch Lab. Ungefähr 5 ccm Milch werden mit etwa 1—2 ccm Labessenz im Reagenzglase gut gemischt und in den Thermostaten gesetzt. Nach ca. 5—10 Minuten ist die Milch geronnen, indem sich unlöslicher Parakaseïnkalk gebildet hat.

B. Zusammensetzung der Milch.

Die Milch, das Sekret der Brustdrüsen, bildet bei allen Säugetieren die ausschließliche Nahrung für die ersten Wochen oder Monate nach der Geburt. Dementsprechend enthält die Milch alle Nahrungsstoffe, welche zur Erhaltung des Lebens und zum Aufbau lebendiger Substanz notwendig sind, d. h. von den organischen Nahrungsstoffen: Eiweißkörper (Kaseïn und Laktalbumin), Kohlehydrate (Milchzucker) und Fette (Butterfett;) von den anorganischen: Wasser und Salze. Die Reaktion der Milch gegen Lackmuspapier ist amphoter.

1. Kaseïn.

Theoretische Vorbemerkungen. Das Kaseïn ist der Haupteiweißkörper der Milch. Es ist in Form seiner Kalkverbindung als Kaseïnkalk in der Milch gelöst. Kaseïnkalk gerinnt nicht beim Kochen der Milch. Was beim Kochen gerinnt und sich in Form einer Oberflächenhaut ausscheidet, ist nur das Laktalbumin. Wird das Kaseïn aus seiner Kalkverbindung getrennt, so fällt es als reines unlösliches Kaseïn aus; die Milch wird dick. Das geschieht durch Einwirkung von Säuren der verschiedensten Art und das ist auch der Vorgang beim Sauerwerden der Milch: Durch Einwirkung des Bacterium lacticum wird der Milchzucker in Milchsäure gespalten und die Milchsäure treibt das Kaseïn aus der Kalkverbindung aus, indem sie milchsauren Kalk bildet. Das ausfallende Kaseïn schließt den größten Teil der Butterfettkügelchen mit ein. Die nach Kaseïnausfällung übrig bleibende Flüssigkeit ist das Milchserum (Molke). Sie enthält das Laktalbumin, den Milchzucker und die Salze.

Kaseïnfällung mit Essigsäure. 5 ccm Milch werden im Reagenzglas mit einigen Tropfen verdünnter Essigsäure versetzt und leicht umgeschüttelt. Die Milch gerinnt und gewinnt ein feinflockiges bis klumpiges Aussehen.

Darstellung von Milchserum. In einem Becherglase werden 50 ccm ungekochter Milch mit 100 ccm destillierten Wassers verdünnt. Dann wird unter stetem Umrühren mit einem Glasstabe verdünnte Essigsäure tropfenweise zugesetzt, bis die Reaktion deutlich sauer ist und die Flüssigkeit zu flocken beginnt. Sobald die Flockung beginnt, vermeidet man jedes weitere Umrühren und Schütteln, da sonst die Flocken zu klein zerteilt werden und das Filter nachher passieren, so daß das Filtrat trübe wird. Man läßt vielmehr zunächst die Flüssigkeit einige Minuten ruhig absetzen. Dann gießt man die oben stehende Partie ab und filtriert sie durch ein trockenes, gehärtetes Filter, so daß man eine klare Flüssigkeit erhält, das Milchserum. Dieses dient zu weiteren Proben. Über die Kaseïngerinnung durch Lab siehe oben p. 37.

2. Laktalbumin.

Theoretische Vorbemerkung. Das Laktalbumin ist ein Albuminkörper, der beim Kochen der Milch gerinnt und in der Oberflächenhaut Butterkügelchen mit einschließt. Bei der Säurefällung des Kaseïns bleibt das Laktalbumin in dem Milchserum zurück.

Nachweis des Laktalbumins im Milchserum. Das im vorigen Versuch gewonnene Milchserum wird zunächst benutzt zum Nachweis des Laktalbumins. Mit je 5 ccm des klaren Serums wird ausgeführt:

1. Die Hellersche Ringprobe (siehe oben p. 3).
2. Die Millonsche Probe (siehe oben p. 5).

3. Milchzucker.

Theoretische Vorbemerkung. Der Milchzucker oder die Laktose ist das Kohlehydrat der Milch und gehört zu den reduzierenden Disacchariden (siehe p. 14). Bei Einwirkung des Bacterium lacticum unterliegt die Laktose der Milchsäuregärung, indem das Laktosemolekül zunächst in ein Traubenzucker- und ein Galaktosemolekül gespalten wird, deren jedes zwei Milchsäuremoleküle liefert:

$$\underset{\text{Laktose}}{C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O} = \underset{\text{Dextrose + Galaktose}}{2\,C_6H_{12}O_6} = \underset{\text{Milchsäure}}{4\,C_3H_6O_3}$$

Nachweis des Milchzuckers. Mit 5 ccm des vorhin gewonnenen Milchserums wird die Trommersche Probe gemacht (siehe p. 10).

4. Butterfett.

Theoretische Vorbemerkung. Das Butterfett, bestehend aus mehreren verschiedenen Fetten und Öl, ist in der Milch in Form von mikroskopischen Kügelchen enthalten und verleiht der Milch den Charakter

einer Emulsion (vgl. oben p. 16). Indem die Butterfettkügelchen das auffallende Licht nach allen Seiten hin reflektieren, geben sie der Milch die weiße Farbe.

Extraktion des Butterfettes mit Äther. Die Gasflammen auf den Laboratoriumstischen werden ausgedreht (!). Nunmehr werden 5 ccm Milch im Reagenzglas mit dem gleichen Volumen Äther versetzt und gut durchgeschüttelt. Dann läßt man die Flüssigkeiten voneinander absetzen und gießt den oben stehenden Äther auf ein flaches Uhrschälchen ab. Nach dem Verdunsten des Äthers bleiben Tröpfchen von reinem Butterfett auf dem Uhrschälchen zurück, die einen charakteristischen Geruch besitzen.

C. Zusammensetzung der Galle.

Die Leberzellen sind der Sitz wichtiger Stoffwechselprozesse. In der Leber wird bei reichlichem Gehalt des Pfortaderblutes an Traubenzucker aus Traubenzucker Glykogen hergestellt und als Reservepolysaccharid aufgehäuft, um bei Bedarf (Hunger) wieder in Traubenzucker gespalten und an das Blut abgegeben zu werden. In der Leber werden ferner gewisse Spaltungsprodukte des Eiweißes, die im Blute zirkulieren und bei größerer Anhäufung schädlich sein würden, synthetisch zu verhältnismäßig unschädlichen Verbindungen zusammengesetzt (kohlensaures Ammon zu Harnstoff, milchsaures Ammon zu Harnsäure [bei den Vögeln], Schwefelsäure und aromatische Körper zu aromatischen Schwefelsäuren usw.). Endlich wird in der Leber die Galle produziert, durch die Gallengänge ausgeschieden und zum Teil in ihrem Reservoir, der Gallenblase, angehäuft.

Die Galle hat Sekretcharakter, insofern sie für die Fettverdauung eine bedeutende, bisher noch nicht näher bekannte Rolle spielt. Nach Ausschaltung der Galle vom Darm fallen etwa 60 Proz. der gesamten Fettausnutzung der Nahrung aus. Die Galle hat aber auch Exkretcharakter, insofern sie eine Anzahl von Stoffen (Gallenfarbstoffe, Cholestearin) aus dem Körper entfernt, die nicht weiter im Organismus Verwendung finden. Ihre wesentlichen Bestandteile sind folgende:

Gallensäuren,
Gallenfarbstoffe,
Cholestearin,
Gallenschleim,
Salze.

Ihre Reaktion gegen Lackmuspapier ist alkalisch.

1. Die Gallensäuren.

Theoretische Vorbemerkungen. Die Galle enthält zwei stickstoffhaltige Säuren, die Glykocholsäure und die Taurocholsäure in Form ihrer Natronsalze. Beide sind Abkömmlinge der stickstoffreien Chol- oder Cholalsäure $C_{24}H_{40}O_5$, einer aromatischen Verbindung, deren Konstitution noch nicht näher bekannt ist. Die Cholalsäure verbindet sich mit den Aminosäuren Glykokoll (Aminoessigsäure $NH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH$) und

Taurin (Aminoäthylsulfonsäure $NH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot SO_2 \cdot OH$), welche die stickstoffhaltige Komponente der Gallensäuren bilden. Mit Furfurolwasser geben die Gallensäuren einen roten Farbstoff. Darauf beruht die PETTENKOFERsche Gallensäurenprobe. Bei Anwesenheit von Gallensäuren vermag das Cholestearin sich in gewisser Menge in wässerigen Flüssigkeiten zu lösen. Ebenso vermitteln die Gallensäuren die Lösung der sonst in Wasser unlöslichen Kalkseifen. Schließlich haben die Gallensäuren eine schwach und unvollkommen desinfektorische Wirkung.

Die Pettenkofersche Gallensäurenprobe. 5 ccm Ochsengalle werden mit dem gleichen Volumen destillierten Wassers im Reagenzglas verdünnt. Dann werden einige Tropfen einer 10 proz. Rohrzuckerlösung hinzugefügt und reichlich konzentrierte H_2SO_4. Es bildet sich an der Grenze von H_2SO_4 (unten) und Galle (oben) ein purpurfarbiger bis braunroter Ring. Beim Umschütteln und Mischen der Flüssigkeit nimmt die ganze Masse eine schöne tief karminrote Farbe an.

Die PETTENKOFERsche Gallensäurenprobe ist eine Furfurolreaktion. Das

$C_4H_3O \cdot CHO$ Furfurol

```
 H       H
  \     /
   C = C
   |     \
   |      O
   |     /
   C = C
  /     \
 H       C—H
         \\
          O
```

Furfurol gehört zu den heterozyklischen Verbindungen. Es entsteht bei Behandlung vieler Kohlehydrate mit konzentrierter H_2SO_4 und ist farblos. Mit aromatischen Gruppen verbindet es sich zu prachtvollen roten Farbstoffen. Die Chol- oder Cholalsäure ist eine aromatische Verbindung. Infolgedessen gibt sie mit Furfurol, das bei der Einwirkung des H_2SO_4 auf den zugefügten Rohrzucker entsteht, einen roten Farbstoff.

Zum Vergleich wird eine Furfurolreaktion mit Rohrzucker und α-Naphtol oder Thymol nach MOLISCH angestellt. Zu 5 ccm destillierten Wassers werden 1—2 Tropfen einer 1 proz. Rohrzuckerlösung und ebensoviel Tropfen einer 5 proz. alkoholischen Lösung von α-Naphtol oder auch Thymol zugesetzt. Somit ist eine Kohlehydratgruppe und eine aromatische Verbindung gegeben. Fügt man jetzt konzentrierte H_2SO_4 hinzu, so erhält man an der Grenze beider Flüssigkeiten bei Verwendung von α-Naphtol einen violetten, bei Verwendung von Thymol einen karminroten Farbenring. Beim Umschütteln teilt sich die Farbe der ganzen Flüssigkeit mit, wird aber nach kurzer Zeit undurchsichtig dunkelbraun.

2. Die Gallenfarbstoffe.

Theoretische Vorbemerkungen. Die Farbstoffe der Galle sind Abkömmlinge des Blutfarbstoffes (Hämoglobin). In den Gallengängen findet sich nur das rote Bilirubin $C_{32}H_{36}N_4O_6$. Aus diesem geht durch Oxydation das grüne Biliverdin $C_{32}H_{36}N_4O_8$ hervor, das in großer Menge in der Gallenblase vorhanden ist. Durch künstliche Weiteroxydation des Biliverdins erhält man zunächst das blaue Bilicyanin, dann das violettrote Bilifuscin und schließlich das hellbraune Choletelin.

Bilirubin-rot,
Biliverdin-grün,
Bilicyanin-blau,
Bilifuscin-violett,
Choletelin-hellbraun.

Auf der Herstellung dieser verschiedenen Farbstoffe durch Oxydation beruht die Gmelinsche Gallenfarbstoffprobe.

Die Gmelinsche Gallenfarbstoffprobe. In ein trockenes Reagenzglas werden 5 ccm konzentrierter HNO_3 getan, in ein zweites 5 ccm Ochsengalle. Indem man beide Reagenzgläser mit den Mündungen nahezu wagerecht gegeneinander beugt, schichtet man vorsichtig die Galle über die HNO_3 und stellt dann das Reagenzglas mit den überschichteten Flüssigkeiten senkrecht auf. Es haben sich von oben nach unten die der zunehmenden Oxydation entsprechenden Farbstoffe gebildet: Grün, Blau, Violett, Hellbraun.

Man kann die Probe auch auf einem Stück Fließpapier machen, indem man einen Tropfen Galle sich darauf ausbreiten läßt und dann in die Mitte des ausgebreiteten Tropfens mit einem Glasstabe einen Tropfen HNO_3 bringt. Dann entwickeln sich die Farbenringe konzentrisch um den HNO_3-Tropfen. Die Anordnung der Farben ist in jedem Falle immer so, daß das hellbraune Choletelin als die höchste Oxydationsstufe unmittelbar an die HNO_3-Schicht angrenzt.

3. Das Cholestearin.

Theoretische Vorbemerkungen. Das Cholestearin $C_{27}H_{45}OH$ ist ein einwertiger Alkohol, der sich von einem zu der Gruppe der Terpene gehörigen Kohlenwasserstoff, dem Cholesten, ableitet und bildet feine fettglänzende Kristalltafeln, die sich in Äther und Chloroform sowie in heißem Alkohol und Eisessig leicht lösen. Mit Fettsäuren von höherem C-Gehalt bildet er fettähnliche Ester, die z. B. im Lanolin, dem Wollfett der Schafe, enthalten sind. Nach Hoppe-Seiler kommt Cholestearin in allen Zellen vor. Von der Leber wird es in größeren Mengen ausgeschieden, so daß es zuweilen massenhafte Konkretionen in der Gallenblase bildet, die Gallensteine, die ausschließlich aus Cholestearin mit geringen Beimengungen von Gallenfarbstoff und Kalk bestehen.

Schiffsche Cholestearinprobe. Einige Kristallplättchen Cholestearin werden in 5 ccm Chloroform im Reagenzglase gelöst. Dann

wird das gleiche Volumen konzentrierter H_2SO_4 hinzugesetzt und die Flüssigkeit durchgeschüttelt. Es entsteht eine schöne rubinrote Farbe in dem oben sich absetzenden Chloroform. Die untenstehende H_2SO_4 erscheint gelblich opaleszierend nach dem Absetzen.

Liebermannsche Cholestearinprobe. Einige Kristallplättchen (nicht zu viel!) Cholestearin werden unter Erwärmen in 5 ccm Eisessig gelöst. Die Flüssigkeit wird darauf gut abgekühlt (wichtig!). Darauf wird das gleiche Volumen konzentrierter H_2SO_4 hinzugefügt und die Lösung wieder abgekühlt. An der Grenze der beiden Flüssigkeiten (Schwefelsäure unten, Eisessig oben) bilden sich Farbenringe: unten Rot, nach oben in Stahlblau übergehend.

Darstellung des Cholestearins und der Gallenfarbstoffe aus Gallensteinen. Etwa 2 g Gallensteine (aus dem pathologischen Institut oder der Anatomie zu besorgen) werden in einer Reibschale zerrieben, mit etwa 30 ccm Äther übergossen und nochmals verrieben. Die Ätherlösung wird durch ein trockenes (!) Filter filtriert. Das Filtrat bringt man in eine trockene Kristallisierschale und läßt den Äther abdunsten. Es scheiden sich silberglänzende Kristallplättchen von Cholestearin aus. Eine Probe von diesen Kristallen löst man in einer geringen Menge heißen Alkohols auf und läßt einen Tropfen davon auf einem Objektträger oder Uhrschälchen verdunsten. Die sich ausscheidenden Kristalle von Cholestearin werden unter dem Mikroskop angesehen. Sie bilden durchsichtige, farblose rhombische Tafeln (Fig. 17).

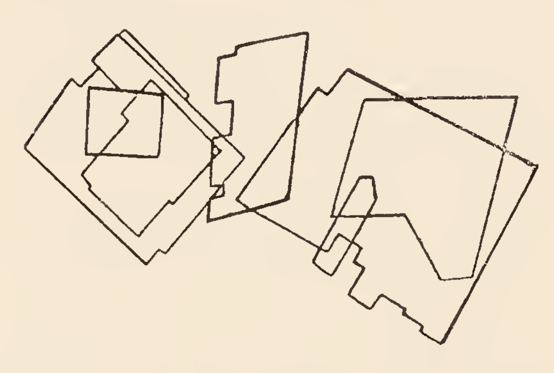


Fig. 17. Cholestearinkristalle. Mikroskopisch.

Den bräunlich gefärbten Filterrückstand wäscht man sorgfältig mit Äther aus, um ihn von dem anhaftenden Rest von Cholestearin zu befreien, indem man ihn auf dem Filter mit Äther schüttelt und den Äther durch den Trichter ablaufen läßt. Ist der Äther abgedunstet, so wird der Rückstand auf dem Filter mit verdünnter HCl aufgeschlossen, die den Kalk auflöst, so daß die Gallenfarbstoffe frei werden. Alsdann wird mit Wasser so lange auf dem Filter nachgewaschen, bis die saure Reaktion verschwindet. Ist alles Wasser durchgelaufen, so wird das Filtrierpapier mit dem Rückstand in zwei Hälften geschnitten. Die eine Hälfte wird getrocknet und dann in Chloroform gelöst. Man erhält so eine Chloroformlösung der Gallenfarbstoffe. Schüttelt man diese Chloroformlösung mit dem gleichen Volumen einer schwachen Na_2CO_3-Lösung, so gehen die Gallenfarbstoffe beim Absetzen in die letztere über. Die andere Hälfte des Filterrückstandes

wird gleich feucht in stark verdünnter Na_2CO_3-Lösung gelöst und filtriert. Sie kann zur Ausführung der GMELINschen Gallenfarbstoffprobe benutzt werden.

4. Gallenschleim

Theoretische Vorbemerkung. In der menschlichen Galle wird der Schleim von echtem Mucin gebildet, das durch Essigsäure ausgefällt wird. In der Rindsgalle besteht der Schleim aus einem Nukleoproteïd. Dieses wird in reinem, d. h. isoliertem Zustande aus seiner wässerigen Lösung durch Zusatz von wenig Essigsäure zwar gefällt, aber durch Mehrzusatz von Essigsäure wieder gelöst. In der Galle selbst dagegen ist die Wiederlösung dieser Fällung in überschüssiger Essigsäure durch die Anwesenheit der Gallensäuren erschwert.

Ausfällung des Schleims durch Essigsäure. 5 ccm Rindsgalle werden mit dem gleichen Volumen destillierten Wassers verdünnt. Bei Zusatz von einigen Tropfen verdünnter Essigsäure fällt der Gallenschleim aus. Im Überschuß von Essigsäure löst sich der Niederschlag in der Regel nicht oder nur unvollkommen wegen der Anwesenheit der Gallensäuren.

D. Darmperistaltik.

Theoretische Vorbemerkungen. Die Peristaltik ist eine Bewegungsform, die wir im Säugetierkörper am Verdauungstraktus sowie an den Ureteren beobachten. Sie besteht in dem Auftreten und wellenförmigen Fortschreiten eines kontraktorischen Schnürringes an diesen schlauchförmigen muskulösen Organen. Beim Darm schreiten die peristaltischen Kontraktionen verhältnismäßig langsam fort und ihr physiologischer Verlauf ist unter normalen Verhältnissen von oben nach unten gerichtet. Durch gewisse Reize kann aber auch eine in entgegengesetztem Sinne verlaufende Antiperistaltik erzeugt werden. Bestimmte Stoffe bewirken einen peristaltischen Krampf, indem sie die Darmmuskulatur zu einer heftigen andauernden Kontraktion veranlassen. Ob und inwieweit an dem Zustandekommen der peristaltischen Bewegung die nervösen Elemente der Darmwand selbst beteiligt sind, oder ob die Peristaltik eine autonome Muskeltätigkeit ist, die durch hinzutretende Nerven nur in ihrem Ablauf beeinflußt werden kann, ist zurzeit noch nicht zu entscheiden. Herausgeschnittene Darmschlingen können ihre Peristaltik auch außerhalb des Körpers noch fortsetzen.

Aufbinden des Kaninchens. Das Aufbinden wird am besten von zwei Personen besorgt. Das Hochheben und Tragen des Kaninchens soll niemals in der Weise geschehen, daß man das Tier an den Ohren faßt, da es hierbei meist abwehrende, strampelnde Bewegungen ausführt, die zu starken Zerrungen von Nerven, Gefäßen und Muskeln Anlaß geben können, sondern stets so, daß man das Tier mit der vollen Hand an der Rückenhaut hochhebt. So wird das Tier auf den

Tisch gesetzt, wo ihm, während es hockt, zunächst der MALASSEZsche Kopfhalter (Fig. 18) angelegt wird. Die zweizinkige Gabel desselben wird hinter die Ohren geschoben, so daß die Mittelstange zwischen den Ohren in der Medianlinie nach vorn über den Kopf verläuft. Dann wird der auf der Mittelstange verschiebbare Maulring ganz gerade über das Maul geschoben, etwas angedrückt, so daß der Kopf nicht herausgezogen werden kann, und festgeschraubt. Darauf faßt man das Tier fest an Vorder- und Hinterbeinen und bringt es in Rückenlage auf das Brett, indem man die Stange des Kopfhalters zunächst durch den Halter schiebt. Dann schnürt man zuerst die Hinterbeine nacheinander oberhalb der Ferse mit je einer Schlinge fest anliegend an ein Loch des Brettes und befestigt die Schnur mit einer Klemmschraube. Darauf behandelt man die Vorderbeine in entsprechender Weise, so daß sich das Tier nicht mehr losreißen kann und an heftigen Bewegungen verhindert ist. Schließlich schraubt man die Stange des Kopfhalters in einer solchen Lage fest, daß der Hals des Tieres mäßig gespannt und ein wenig hoch gelagert ist und daß das ganze Tier genau symmetrisch auf dem Brette liegt (Fig. 19).

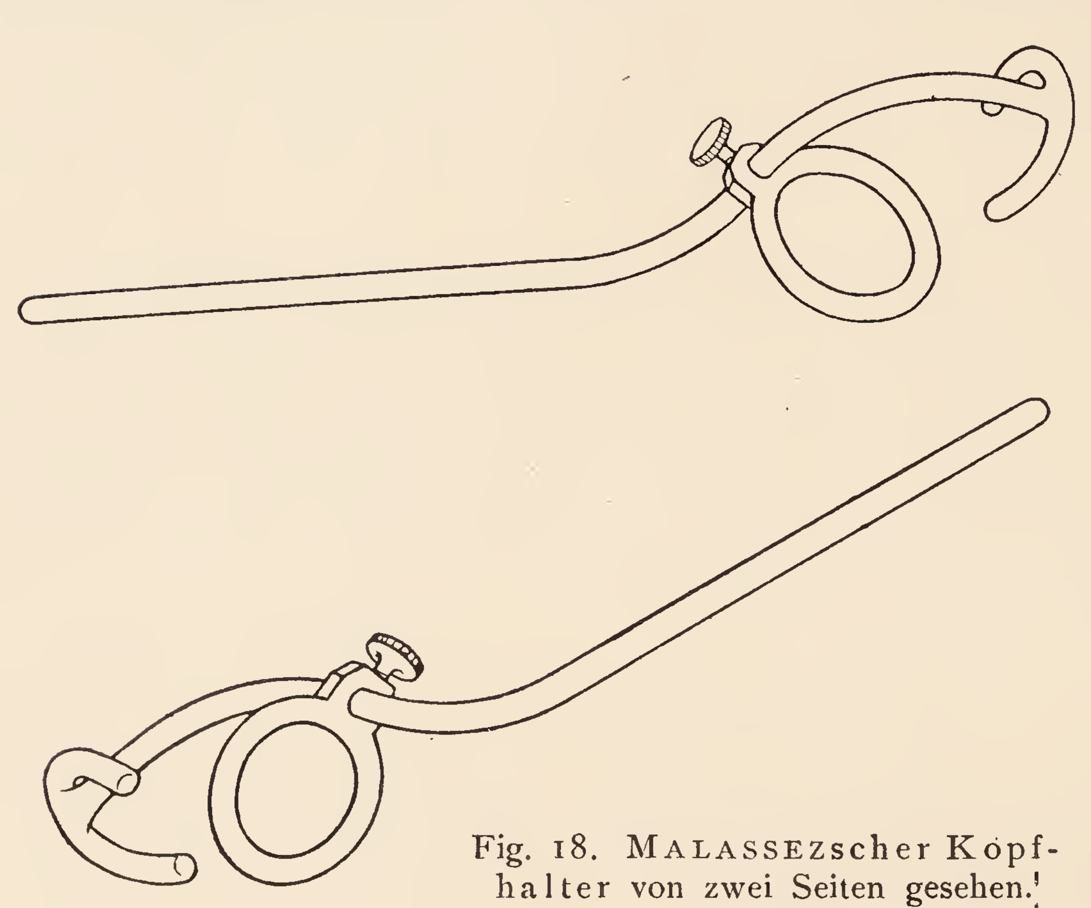


Fig. 18. MALASSEZscher Kopfhalter von zwei Seiten gesehen.[1]

Scheren des Halses und der Bauchdecken. Ist das Tier gut befestigt, so wird zunächst an den Stellen, an denen operiert werden soll, das ist in diesem Fall am Hals und auf dem Bauch, die Haut geschoren. Dazu benutzt man am besten eine größere, scharfe, etwas gebogene Schere, die man flach mit geöffneten Schneiden auf die Haut drückt. Das Tier liegt dabei so vor dem Operateur, daß sein Kopf nach der Seite der linken, sein Schwanz nach der Seite der rechten Hand gerichtet ist. Beim Scheren ist in erster Linie das Hochheben der Haare mit der linken Hand zu vermeiden! Zieht man die Haare hoch, so läuft man Gefahr, in eine Hautfalte zu schneiden. Die linke Hand kann höchstens das Scheren dadurch

unterstützen, daß sie zwischen Daumen und Zeigefinger die Haut des Tieres ein wenig spannt. Die abgeschorenen Haare sind fortzunehmen und in einem bereitstehenden Topf zu sammeln, damit sie nicht in die Operationswunde kommen oder im Zimmer umherfliegen. Beim Zusammendrücken der Schere tut man gut, die Schere immer ein wenig zurückzuziehen, so daß die Haare nicht schräg, sondern annähernd senkrecht zwischen die Schneiden kommen. So wird zunächst über dem Kehlkopf und der Trachea, die man zwischen Daumen und Zeigefinger der linken Hand palpieren kann, eine 6—7 cm lange und 4—5 cm breite Fläche und dann ein etwa 3—4 cm breiter Streifen vom unteren Ende des Sternums über die Linea alba bis zur Symphyse geschoren. Schließlich werden alle Haare sorgfältig entfernt und die geschorenen Hautstellen mit einem feuchten, gut a u s g e d r ü c k t e n Wattebausch abgewischt.

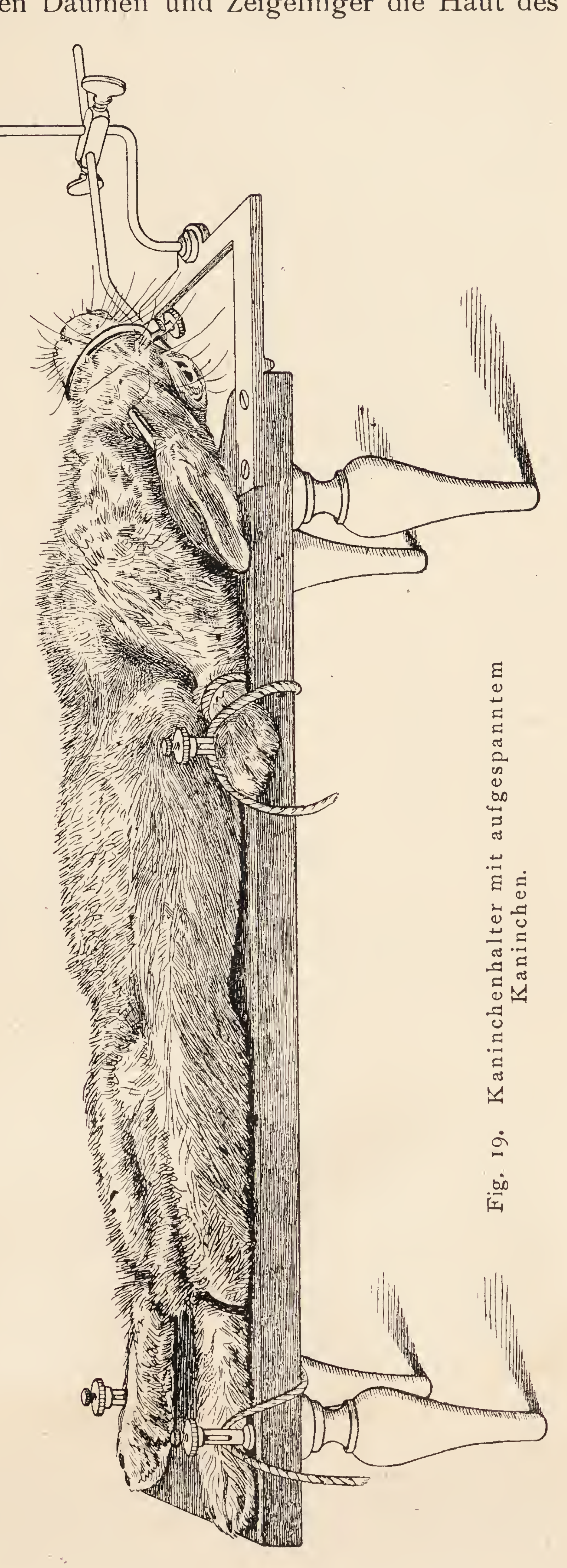


Fig. 19. Kaninchenhalter mit aufgespanntem Kaninchen.

Tracheotomie und Einbinden der Trachealkanüle. Sind die geschilderten Vorbereitungen getroffen, so fühlt man mit der linken Hand, wo Kehlkopf und Trachea liegen, legt

Daumen und Zeigefinger der linken Hand zu beiden Seiten der Trachea auf die Halshaut und spannt durch Aufdrücken und Auseinanderspreizen der beiden Finger die Haut über der Trachea straff an. Dann setzt man mit der Rechten das Skalpell unterhalb des Kehlkopfes fest auf und macht unter starkem Aufdrücken einen etwa 5—6 cm langen Hautschnitt in der Medianlinie genau über der Trachea nach dem Sternum zu. Dabei sind im Interesse einer guten Operationstechnik folgende Punkte zu beachten. Man setze das Messer nicht mit der Spitze auf, indem man es etwa nach Art eines Federhalters zwischen den Fingern hält, sondern mit der Schneide, indem man es von oben her fast horizontal zwischen Daumen einerseits und 2., 3., 4. und 5. Finger andererseits hält und kräftig aufdrückt (Fig. 20). Man gewöhne sich ferner von vornherein daran, nicht kleine, seichte, kurze, hastige Schnitte mit der Spitze des Messers zu machen, sondern lange, feste, ruhige,



Fig. 20. Messerhaltung beim Schneiden.

tiefe Schnitte mit der Schneide. Das ist durchaus nicht schwierig, wenn man nur immer die Haut zwischen Daumen und Zeigefinger der linken Hand fest gespannt hält. Ist der Schnitt nicht gleich beim ersten Aufsetzen ganz durch die Haut gegangen, so setzt man das Messer nochmals in der gleichen Weise auf, bis die Haut vollständig gespalten ist in einer Länge von etwa 5—6 cm. Die Blutungen aus den kleinen Hautgefäßen sind bei diesem Schnitt nur äußerst gering und werden mit einem feuchten, fest ausgedrückten Wattebausch, der immer bereit liegen muß, abgetupft resp. abgewischt, wobei der Wattebausch ziemlich stark aufgedrückt werden kann. Ist die Haut gespalten, so zieht man sie nach beiden Seiten mit der Pinzette auseinander und sieht nun in der offenen Wunde die beiden Sternothyreoidei frei liegen. Die Muskeln werden jetzt durch einen Schnitt in der

Medianlinie in derselben Weise gespalten wie die Haut, indem man sie durch Aufdrücken von Daumen und Zeigefinger über der Trachea nach beiden Seiten hin spannt und mit einem scharfen Schnitt von etwa 4—5 cm trennt. Man wiederholt diesen Medianschnitt, bis die Muskeln vollständig bis auf die Trachea gespalten sind, so daß die Knorpelringe der Trachea in der Operationswunde sichtbar werden, und erweitert die Wunde so, daß die Trachea etwa 3—4 cm weit frei liegt. Dabei ist es wichtig, wie bei allen Operationen am lebenden Tier, daß man das Operationsfeld vom Blut frei hält.

Während man die Muskeln spaltet, treten bisweilen kleine Blutungen auf, die sich in die Wunde ergießen. Wenn diese Blutungen aus kleinen Gefäßen auch unbedeutend sind, so können sie doch, falls sie nicht beseitigt werden, das Operationsfeld durch Gerinnung der Blutflüssigkeit so in der Farbe trüben, daß alle Teile (Nerven, Gefäße, Muskeln, Bindegewebe usw.) das gleiche Aussehen gewinnen und nicht mehr klar zu erkennen sind. Es muß daher als oberste Regel bei allen Operationen am lebenden Tier gelten, Blutungen, die etwa entstehen, sofort zu beseitigen. Das geschieht bei kleinen Blutungen wie im vorliegenden Falle durch festes Abtupfen und Abwischen mit Watte, das so lange wiederholt wird, bis die Blutung durch Kontraktion der Gefäßwand und Verstopfung der Gefäßöffnung durch Fibringerinnsel zum Stehen gebracht ist. Bei stärkeren Blutungen aus größeren Gefäßen muß unter sofortigem Abtupfen der Wunde die Stelle aufgesucht werden, aus der die Blutung erfolgt. Dann wird durch Anlegen einer Arterienklemme (Fig. 21) das offene Arterienende abgeklemmt, wobei ohne Schaden unwesentliche Teile der Nachbarschaft, wie Bindegewebsmassen oder Muskelstränge (nur niemals Nerven!), mitgefaßt werden können. Hat man auf diese Weise die Blutung beseitigt, so wird die Wunde sofort auch sorgfältig abgetupft.

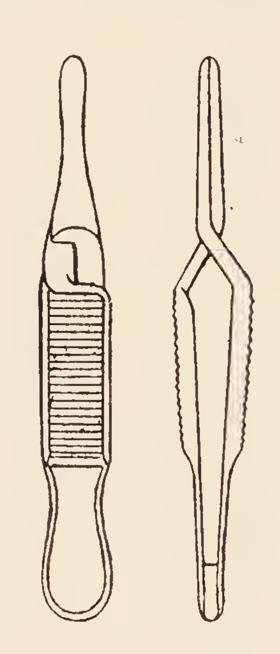


Fig. 21. Arterienklemme von zwei Seiten gesehen.

Nachdem die Muskeln bis auf die Trachea gespalten sind, braucht man das Messer nicht mehr zur Operation. Man präpariert jetzt stumpf weiter, indem man die Muskeln mit einer Pinzette faßt und seitwärts von der Trachea abzieht, um mit einem stumpfen Instrument [stumpfem Haken, Sucher, Schlingenführer oder stumpfem Spatel (Fig. 22)] die Trachea ringsherum aus dem Bindegewebe lösen zu können. Dabei ist streng darauf zu achten, daß man mit der Pinzette nur immer Muskeln, Bindegewebe oder Haut faßt, niemals einen Nerven oder ein Gefäß! Indem man so durch Hin- und Herziehen des stumpfen Instrumentes eng an der Trachealwand das Bindegewebe

ringsherum von der Trachea abpräpariert, wobei keinerlei Blutungen zu fürchten sind, weil das stumpfe Instrument die elastischen Gefäße nur zerren, nicht aber wie ein Messer oder eine Schere zerschneiden kann, legt man die Trachea ringsherum auf eine Strecke von 2—3 cm frei und führt alsdann mittels eines Schlingenführers oder auch einfach mit Hilfe einer Pinzette einen feuchten Faden unter der Trachea durch. Solche feuchte Fäden (einfache dünne Heftfäden von 15—20 cm Länge, die in Wasser aufgeweicht sind) müssen immer in einiger Zahl für die Operationen zur Hand sein. An dem Faden hebt man nunmehr die Trachea mit der linken Hand in die Höhe und macht mit einer Schere etwa 1 cm unterhalb des Kehlkopfes in die Trachea einen queren Einschnitt, der aber nicht ganz bis zur Mitte des Lumens hindurchgeht. Die kleine Blutung, die dabei auftritt, wird abgetupft und dann wird sofort das sattelförmige Ende einer T-förmigen gläsernen Trachealkanüle, die in ihrer Dicke der Trachealweite angemessen ist, nach dem unteren Ende zu eingeführt (Fig. 23). Liegt die Trachealkanüle in der Trachea, so benutzt man den Faden, um sie festzubinden, wobei darauf zu achten ist, daß der Faden genau über der sattelförmigen Einschnürung der Kanüle recht fest angezogen wird. Schließlich kann man, um ganz sicher ein Herausrutschen der Kanüle aus der Trachea zu verhindern, die Enden des Fadens noch über dem queren Teil der T-förmigen Kanüle zusammenbinden. Die Einbindung der Trachealkanüle ermöglicht es, daß später leicht ein Erstickungsversuch und eventuell auch sofort künstliche Atmung gemacht werden kann. Zu diesem Zweck wird das quere Ansatzstück der Kanüle mit dem

b *a* *c*

Fig. 22. *a* Schlingenführer oder stumpfer Haken, *b* Spatel, *c* Sucher. Nat. Größe.

Gummischlauch eines Gummigebläses (Fig. 24) verbunden, während das andere Ende des T-Balkens mit einem kleinen ca. 4—5 cm langen Schlauchstück versehen wird, dessen Öffnung zur Hälfte oder zu zwei Dritteln mit einer Arterienklemme verschlossen wird (Fig. 24). Wenn die Luft durch rhythmische Kompressionen der Gebläsegummibirne in die Lungen gepreßt wird, darf der Druck nie zu hoch werden und die Exspirationsluft muß die Möglichkeit haben, zwischen zwei Kompressionen der Birne beim Kollabieren der Lungen zu ent-

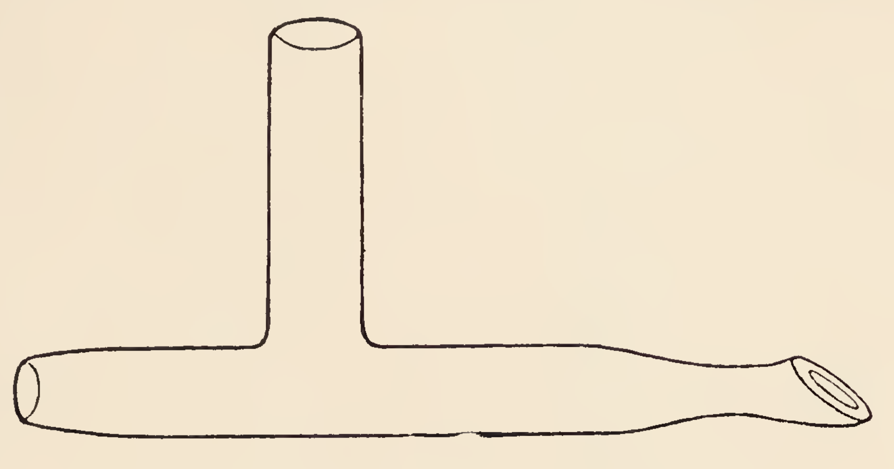


Fig. 23. Gläserne Trachealkanüle.

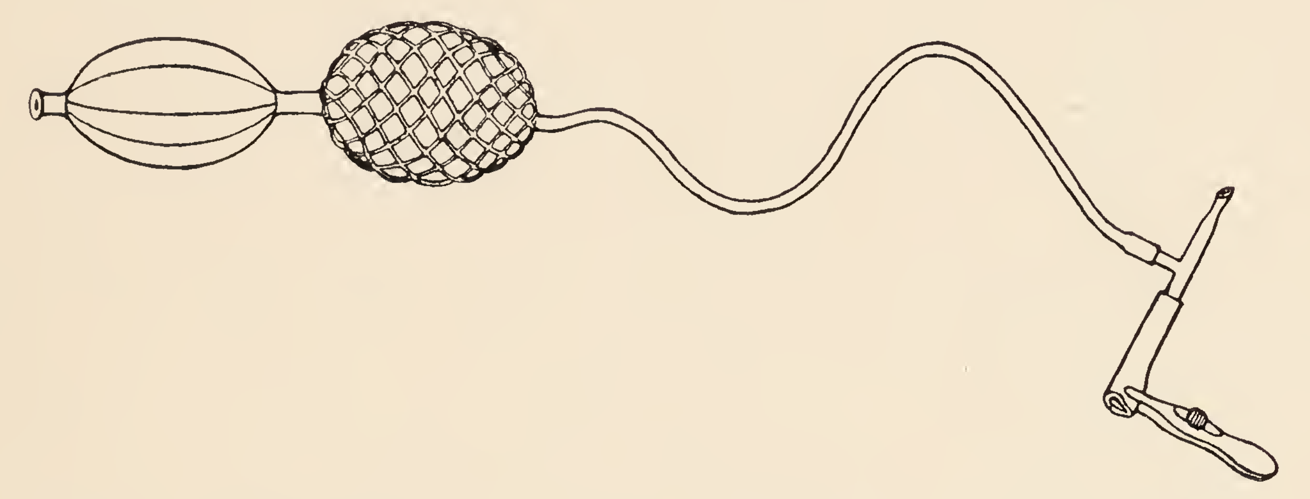


Fig. 24. Gummigebläse nebst halb zugeklemmter Trachealkanüle.

weichen. Diesen Zwecken dient die kleine Öffnung, die man beim Abklemmen des Gummischlauches am Querstück der Kanüle frei läßt (Fig. 24).

Einbinden einer Venenkanüle in die Vena jugularis. Indem man den Hautrand der Halswunde mit der Pinzette seitwärts nach außen zieht, sieht man bereits die dunkle, blauschwarze Vene deutlich durch das Bindegewebe schimmern. Man hält nun mit einer Pinzette in der Linken den Wundrand straff nach außen gespannt und präpariert stumpf (siehe oben) das Bindegewebe ringsherum auf eine Strecke von 1—1,5 cm hin ab. Das muß vorsichtig geschehen, ohne allzu starkes Zerren, da sonst leicht ein Zweig der dünnwandigen Vene zerreißt und eine Blutung herbeiführt. Liegt die Vene von Bindegewebe ringsherum frei, so wird ein nasser Faden unter sie geführt. Mit diesem Faden hebt man die Vene in die Höhe, um zunächst möglichst weit nach dem unteren Ende der freigelegten Strecke zu eine schmale Arterienklemme (zu beachten, daß ihre Ränder nicht schneiden, sondern stumpf sind!) anzulegen. Dann bindet man die

4*

Vene mit dem Faden möglichst weit nach dem Kopf hin zu. Das eine Ende des Fadens schneidet man ab. Am anderen Ende hebt man die Vene wieder hoch, um zwischen Klemme und Unterbindungsstelle einen zweiten Faden zu legen, in den man eine Schlinge um die Vene macht, ohne dieselbe zuzuziehen. Das zwischen Unterbindungsstelle und Klemme liegende Stück der Vene ist nunmehr mit Blut gefüllt, so daß die Venenwand prall gespannt ist. Indem man nun wiederum die Vene an dem Unterbindungsfaden hochhebt, schneidet man mit einer feinen Schere quer in die prall gespannte Venenwand unterhalb und möglichst nahe an der Unterbindungsstelle ein kleines Loch. Natürlich wird jetzt die gespannte Wand kollabieren und das Blut wird aus der abgesperrten Strecke herauslaufen. Letzteres wird sorgfältig abgetupft. Alsdann führt man, immer unter Anspannung der Vene mittels des Unterbindungsfadens, das Ende des stumpfen Finders in die eingeschnittene Öffnung und führt nun unter Leitung des Suchers die vorher mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllte und an ihrem Ansatzende mit Wachs oder einem feinen Korkstopfen verschlossene Kanüle der Venenspritze (Fig. 25 *b*) ein. Das ist nicht schwierig, da die Venenwand ja außerordentlich dehnungsfähig ist. Liegt die Kanüle in der Vene, so wird die Schleife des vorher untergelegten Fadens gerade über dem Sattel der Kanüle fest angezogen und zugebunden, so daß die Kanüle nicht mehr herausgleiten kann. Schließlich schneidet man alle Fadenenden ab. Die Einbindung

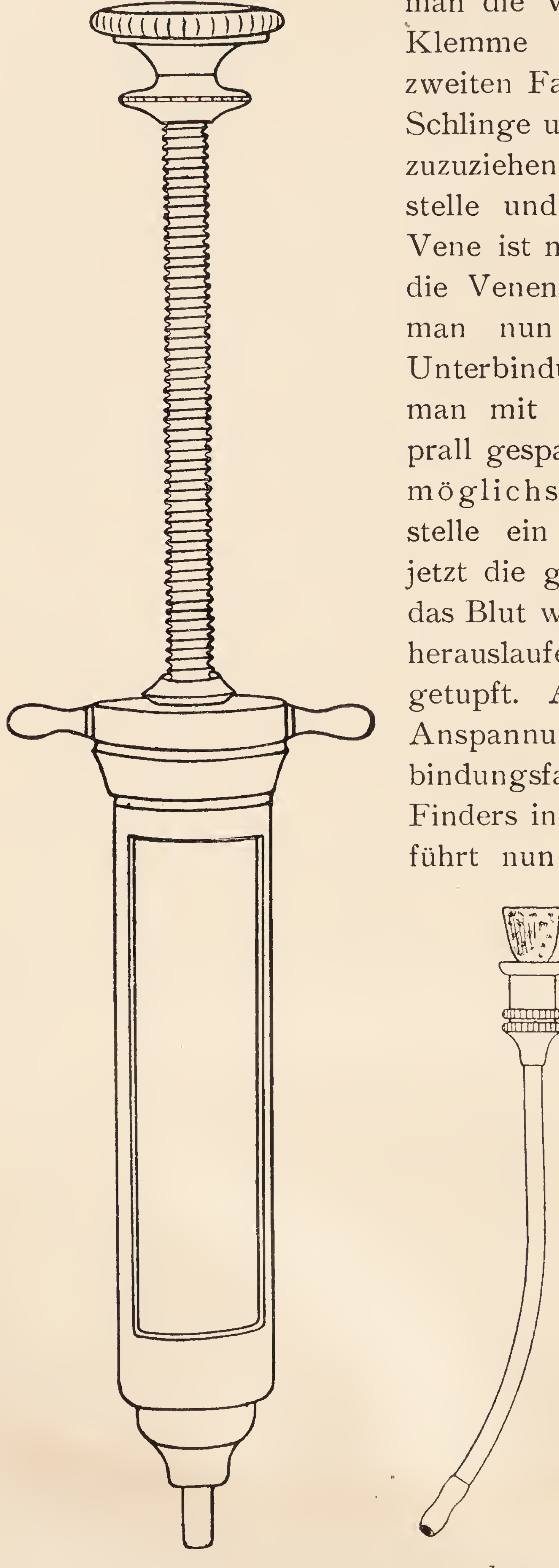


Fig. 25. *a* Venenspritze (natürliche Größe), *b* Kanüle dazu (natürliche Größe).

einer Kanüle in die Vene hat den Zweck, die schnelle Injektion von bestimmten Lösungen in die Blutbahn zu ermöglichen. Durch Injektion von Lösungen in die Blutbahn gelangen die betreffenden Stoffe, deren Wirkung man untersuchen will, fast momentan in ihrer vollen Stärke an die Punkte ihrer Wirksamkeit, während sie bei subkutaner Injektion oder Einführung per os oder anum nur ganz allmählich resorbiert und während der Zeiteinheit nur in geringen Mengen an die Orte ihrer Wirksamkeit getragen werden.

Freilegung der Baucheingeweide. Beobachtung der Peristaltik. Um die Bauchhöhle zu öffnen, führt man mit dem Skalpell (Haltung wie oben p. 48) einen langen Schnitt in die Medianlinie (die vorher geschoren war) aus, der die ganze Haut vom Processus xiphoideus bis nahe zur Symphyse hin spaltet, indem man die Haut immer durch die auf die Bauchdecken aufgelegte Hand zwischen Daumen und Zeigefinger gespannt hält. Es ist auch hier wieder wie immer nötig, nicht lauter schwache, kurze, hastige Schnitte aneinander zu reihen, sondern feste, ruhige, möglichst lange Schnitte mit ziemlich stark aufgedrücktem Messer auszuführen. Ist die Bauchhaut der Länge nach gespalten, so zieht man sie mit Pinzetten ein wenig nach beiden Seiten auseinander und hebt mit einer Hakenpinzette genau in der Linea alba, etwa in der Mitte des Bauches, eine Falte der dünnen Bauchmuskeldecke hoch, durch die man mit der Schere der Länge nach einen etwa fingerdicken Schnitt macht. Nunmehr kann man den Zeigefinger der linken Hand in die Bauchhöhle einführen und, indem man die Bauchdecke mit demselben in die Höhe hebt, unter seiner Führung mit der Schere der Linea alba entlang nach oben und unten den Schnitt erweitern. Nennenswerte Blutungen sind dabei nicht zu befürchten. Schließlich werden die beiden Ränder der Bauchwunde durch Muskelhaken mit angehängten Gewichten auseinander gezogen und die Baucheingeweide liegen frei. Durch Ausbreiten einzelner Dünndarmschlingen kann man sich eine Übersicht über längere Darmabschnitte verschaffen. — Dabei bemerkt man, wie die Dünndarmschlingen den Eindruck einer Anzahl dicker, träge durcheinander kriechender Würmer machen. Das ist der Ausdruck der Peristaltik. Betrachtet man eine Strecke des Dünndarms, welche die peristaltische Bewegung zeigt, etwas genauer, so sieht man einen flachen Schnürring auftreten, der sehr langsam von oben her nach unten hin fortschreitet. Die Darmschlinge bleibt dabei in Wirklichkeit an ihrer Stelle liegen. Die Erscheinung ist längere Zeit zu beobachten und genau zu untersuchen.

Versuch von Magnus. Vorbereitung. In einer breiten Abdampfschale werden etwa 300—500 ccm physiologischer NaCl-Lösung

über dem Wasserbade auf 38—40° C erwärmt. Durch die Lösung werden mittels einer Glasröhre andauernd Sauerstoffblasen aus einem Gasometer oder einer Bombe mit verdichtetem Sauerstoff hindurchgeleitet.

Operation. Es wird dasselbe Tier benutzt, das zur Beobachtung der Peristaltik gedient hat. Vom unteren Teil des Colon descendens, in dem sich einzelne kugelig geballte Kotmassen befinden, wird ein etwa 10 cm langes Stück freigelegt. Dann wird das zuführende Blutgefäß des Mesenteriums mit einer Arterienklemme abgeklemmt oder unterbunden und das Mesenterium von der betreffenden Darmstrecke mit einer Schere abgeschnitten. Darauf wird das obere Ende der Darmstrecke mit einem Faden zugebunden und die ganze Darmstrecke unterhalb der Unterbindungsstelle durch einen Scherenschnitt oben und einen Scherenschnitt unten exzidiert. Die so isolierte Darmschlinge kommt nun in die körperwarme NaCl-Lösung und wird hier beobachtet.

Beobachtung. Die etwa 3—5 runden Kotballen, die in dem Darmstück durch die Wand hindurch sichtbar sind, werden in Zwischenräumen von einigen Minuten nacheinander durch die peristaltischen Bewegungen des Darmstückes aus dem unteren Ende desselben herausgetrieben, indem sich jedesmal hinter dem vordersten Kotballen ein Schnürring bildet, der ganz langsam fortschreitet und dabei den Kotballen vor sich herschiebt, bis er aus der Schnittöffnung heraustritt. Sind alle Kotballen ausgetrieben, so kann man sie wieder in das obere Ende des Darmstückes hineinschieben und ihre Austreibung beginnt in derselben Weise von neuem.

Einfluß der Dyspnoe auf die Peristaltik. Zu den folgenden Versuchen dient dasselbe Tier wie oben; man klemmt mit je einer Klemme oder mit der Hand die beiden Schläuche der Trachealkanüle zu und beobachtet die Peristaltik. Nach kurzer Zeit sieht man infolge der allmählichen Abnahme der Sauerstoffmenge des Blutes, die auch äußerlich an dem Venöswerden (dunklere Farbe) der Mesenterialgefäße zum Ausdruck kommt, die Peristaltik lebhafter werden. Die Bewegungen werden stärker und schneller. Man beobachte dabei den Puls in den größeren Stämmen der Mesenterialarterien. Sobald der Puls aufhört oder sobald das Tier Krämpfe bekommt, muß sogleich der Verschluß der Trachealkanüle aufgehoben oder, wenn nötig, künstliche Atmung gemacht werden, indem man bei halb zugeklemmtem Schlauchansatz der Trachealkanüle die Gummibirne des Gebläses rhythmisch jede halbe bis ganze Sekunde komprimiert. An dem sehr schnellen Arteriellwerden (hellrote Farbe) der Mesenterialgefäße sieht

man sofort die Wiederkehr des normalen Sauerstoffgehaltes, und dementsprechend wird die Darmperistaltik wieder träger.

Einfluß des Nikotins auf die Peristaltik. Lokale Einwirkung. Man pinselt mit einem feinen Pinsel einen Tropfen einer Nikotinlösung (1 Tropfen reinen Nikotins auf 10 ccm destillierten Wassers) auf eine zirkumskripte Stelle einer Dünndarmschlinge und sieht, wie sich im Verlauf weniger Sekunden hier eine äußerst heftige lokale Kontraktion der Darmmuskulatur entwickelt. Die betreffende Stelle erscheint weißlich, hart und stark eingeschnürt.

Totale Vergiftung. Es werden demselben Tier durch die Venenkanüle, nachdem die Venenklemme abgenommen ist, mit der Venenspritze 10 ccm der obigen Nikotinlösung in die Jugularvene eingespritzt. Dabei muß, wie bei allen Spritzeninjektionen, darauf geachtet werden, daß keine Luft mehr in der Spritze ist, weil sonst die Gefahr einer Luftembolie, die zum plötzlichen Tode führen kann, entsteht. Man erreicht den Zweck einerseits, indem man die Kanüle (was vorher schon geschehen war) mit einer indifferenten Flüssigkeit füllt, andererseits, indem man die Luft, die sich nach dem Einsaugen der Lösung noch in der Spritze befindet, dadurch entfernt, daß man die gefüllte Spritze mit ihrer Spitze ganz senkrecht nach oben hält, damit die Luftblase nach oben steigt, und dann den Stempel langsam in die Höhe schiebt, bis alle Luft herausgepreßt ist. Die verlorene Flüssigkeit wird wieder nachgesogen. Wenige Sekunden nach Injektion der Nikotinlösung sieht man den Darm in seiner ganzen Ausdehnung plötzlich in die heftigste tetanische Kontraktion verfallen. Der Darm wird dünn, weißlich, hart. Dieser Tetanus der Darmmuskulatur dauert nur wenige Minuten. Dann erschlafft der Darm allmählich wieder. Gleichzeitig aber mit diesem Darmkrampf setzt auch ein klonischer (d. h. in unregelmäßig intermittierenden Zuckungen bestehender) Zitterkrampf aller Skelettmuskeln des ganzen Tieres ein, das Herz steht still, das Tier ist tot. Das ist die Wirkung des Nikotins.

Die Gelegenheit des Versuchs wird benutzt, um eine Betrachtung des Situs an der Leiche anzuschließen. Es werden Magen, Leber, Pankreas, Milz, Nieren, Ureteren, Blase usw. aufgesucht. Die Hochwölbung des Zwerchfells und ihre Beziehung zur Lage der Baucheingeweide wird geprüft. Die Brusthöhle wird durch Resektion des Sternums mitsamt den Rippen geöffnet, die kollabierte Lunge und das Herz betrachtet u. s. f.

III. Atmung.

A. Chemie der Atmung.

Unter Atmung versteht man den Teil des Stoffwechsels, der in dem Verbrauch von Sauerstoff und der Produktion von Kohlensäure zum Ausdruck kommt. Es ist natürlich eine rein willkürliche Abtrennung, wenn man diesen Teilprozess des Stoffwechsels als einen besonderen Vorgang durch einen besonderen Namen hervorhebt. In Wirklichkeit ist der Verbrauch von Sauerstoff und die Bildung von Kohlensäure nicht von dem Gesamtkomplex der Stoffwechselvorgänge zu trennen, dessen einzelne Glieder untereinander in der allerengsten Verkettung und voneinander in unlösbarer Abhängigkeit stehen. Auch darf man sich den Vorgang der Kohlensäurebildung, der sich ebenso wie der Sauerstoffverbrauch in der lebendigen Substanz der Körperzellen abspielt, nicht so einfach denken, daß der Sauerstoff beim Zusammentritt mit C-haltigen Nahrungsstoffen den Kohlenstoff zu CO_2 verbrennt, sondern es handelt sich bei der CO_2-Bildung vielmehr einesteils um sehr komplizierte Oxydationsprozesse, bei denen der Sauerstoff erst auf chemischen Umwegen an den Kohlenstoff gelangt, anderenteils aber, wenn auch in geringerem Umfange, auch um Prozesse, die gar nicht auf Oxydationen, sondern wahrscheinlich auf anderweitiger Abspaltung von CO_2 aus höher komplizierten chemischen Verbindungen beruhen. Infolgedessen ist die Menge der produzierten und durch die Atmung abgegebenen CO_2 gar nicht, wie man früher und bis in die neueste Zeit hinein annahm, ein absoluter Maßstab für den Umfang der Oxydationsprozesse. Im übrigen weiß man schon lange, daß nicht einmal aller durch die Atmung aufgenommener Sauerstoff zur Bildung von CO_2 verbraucht wird, sondern zum Teil auch zur Oxydation von Wasserstoff zu Wasser, von Schwefel (des Eiweißes) zu Schwefelsäure, von Phosphor zu Phosphorsäure usw. Infolgedessen ist der sogenannte Atmungsquotient $CO_2 : O_2$ unter normalen Verhältnissen, beim Säugetier wenigstens, immer kleiner als 1. Je nach der Art der Nahrung kann er daher verschiedene Größe haben. Bei reiner Kohlehydratnahrung, die natürlich infolge des Eiweißmangels nur eine Zeitlang vertragen werden kann, wird der Atmungsquotient $= 1$, weil in den Kohlehydraten außer Kohlenstoff nur noch Wasserstoff als oxydables Element aufgenommen wird. Da aber im Kohlehydratmolekül bereits gerade soviel Sauerstoff enthalten ist, wie für die Oxydation des Wasserstoffs zu H_2O gebraucht wird, so steht in diesem Falle der ganze durch die Atmung von außen her aufgenommene Sauerstoff für die Oxydation des Kohlenstoffs zu CO_2 zur Verfügung, d. h. der Bruch $CO_2 : O_2$ kann $= 1$ werden. Bei anderer Nahrung, vor allem bei der vorwiegenden Eiweißnahrung der Fleischfresser, ist das natürlich nicht der Fall und der Atmungsquotient bleibt stets kleiner als 1. Aber auch von anderen Faktoren ist seine absolute Größe noch abhängig, z. B. von der Muskelarbeit. Bei angestrengter Muskeltätigkeit kann der Bruch ziemlich groß werden, weil durch die Muskeltätigkeit auf Kosten des im Muskel enthaltenen Sauerstoffs in der Zeiteinheit mehr CO_2 produziert werden kann, als O_2 durch die Atmung verbraucht wird.

Nachweis der Kohlensäureproduktion beim Menschen.

Theoretische Vorbemerkungen. Der äußere Vorgang der Atmung setzt sich zusammen aus den beiden Phasen der Inspiration,

durch welche Luft aus dem Medium in den Körper aufgenommen wird, und der Exspiration, durch welche Luft an das Medium vom Körper abgegeben wird. Die Zusammensetzung der Inspirationsluft (atmosphärischen Luft) ist bekannt. Sie enthält in wasserfreiem Zustande bei 79,02 Proz. von Gasen der Stickstoffgruppe und 20,95 Proz. Sauerstoff nur 0,03 Proz. Kohlensäure. Um den Nachweis der CO_2-Produktion seitens des lebendigen Körpers zu führen, ist es also nötig, festzustellen, daß in der Exspirationsluft mehr CO_2 enthalten ist, als in der Inspirationsluft. Für diese Feststellung muß Inspirationsluft und Exspirationsluft gesondert geprüft werden. Das ist auf verschiedenen Wegen möglich; sehr bequem sind dazu die MÜLLERschen Ventile. Diese MÜLLERschen Ventile bestehen aus zwei schmalen zylindrischen Waschflaschen *A* und *B*, die je einen doppelt durchbohrten Gummistopfen tragen, durch den je eine kurze, nur bis in den oberen Teil der Flasche reichende, und eine lange, bis auf den Boden hinabführende Glasröhre

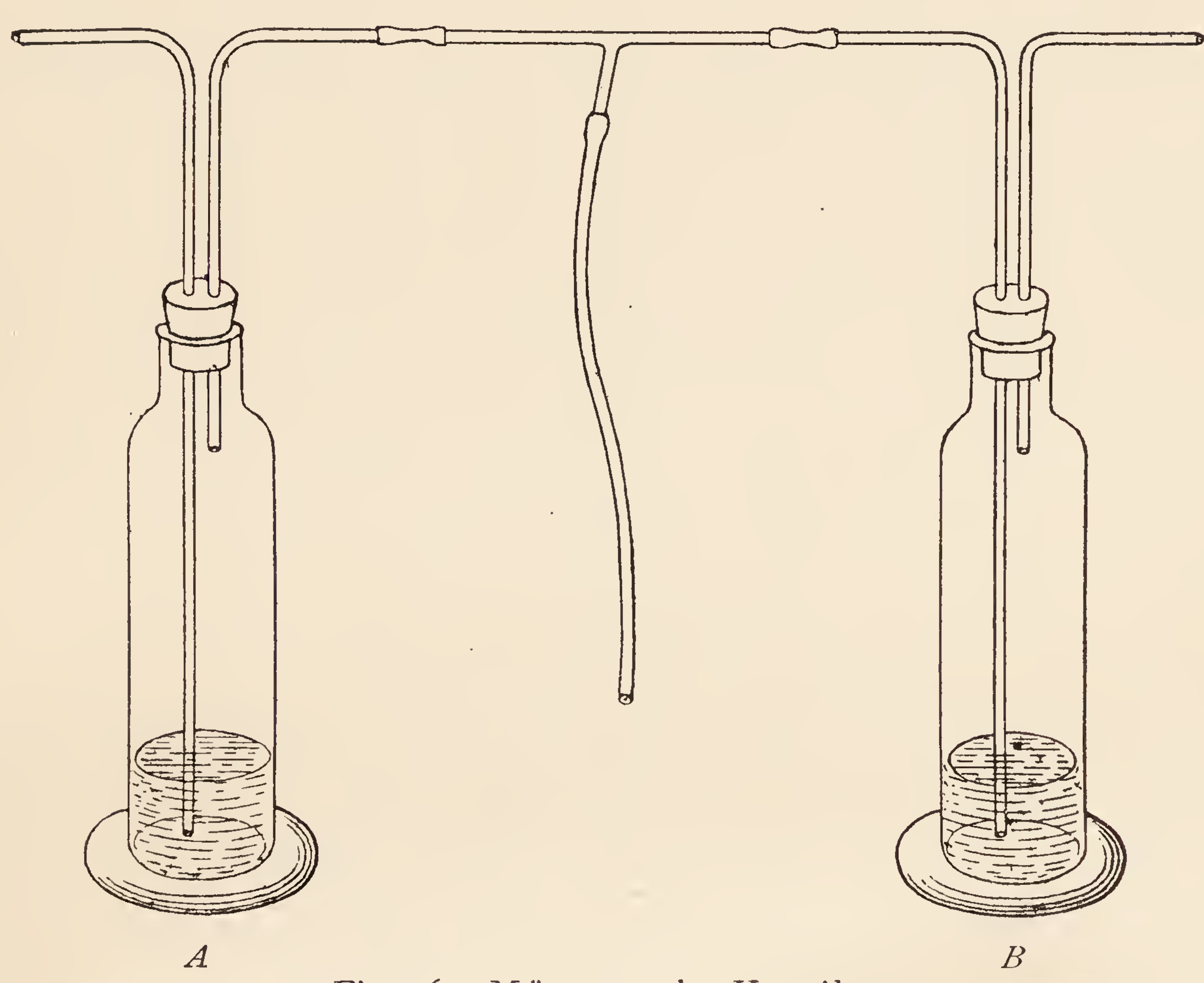


Fig. 26. MÜLLERsche Ventile.

hindurchgeht (Fig. 26). Die Röhren sind oberhalb des Stopfens rechtwinkelig umgebogen. Beide Flaschen werden bis zur Höhe von 5 cm mit Flüssigkeit gefüllt und ihre ungleichnamigen Röhren werden durch Gummischläuche mit den Enden eines T-Rohres verbunden. Bläst man in das T-Rohr hinein, so wird die Exspirationsluft auf demjenigen Wege entweichen, wo sie den geringsten Widerstand zu überwinden hat, d. h. durch die Flasche *B*, in der nur der Druck einer Wassersäule von 5 cm zu überwinden ist, während in der Flasche *A* erst die ganze Flüssigkeitsmasse durch die lange Röhre nach außen getrieben werden müßte, bis die Luft hier entweichen könnte. Saugt man andererseits durch das T-Rohr Luft ein, so wird die Inspirationsluft von außen her wiederum den Weg nehmen, der ihr am wenigsten Widerstand bietet, d. h. in diesem Fall

den Weg durch die Flasche *A*. So kann man die Exspirationsluft von der Inspirationsluft sondern.

Versuch mit Müllerschen Ventilen. Die beiden MÜLLERschen Ventile werden bis zu einer Höhe von 5 cm mit einer frisch filtrierten Lösung von Barythydrat $Ba(OH)_2$ (Barytwasser) gefüllt und die Enden der ungleichartigen Röhren beider Flaschen durch Gummischlauchstücke mit einem T-Rohr verbunden. Durch das T-Rohr werden bei geschlossener Nase mit dem Munde eine gleiche Anzahl von Inspirationen und Expirationen (etwa 10—20) ausgeführt, so daß die Inspirationsluft genau so oft durch die eine Barytlösung wie die Exspirationsluft durch die andere Barytlösung hindurchstreicht. Dabei bemerkt man, daß die Barytlösung in der Flasche, welche die Inspirationsluft hindurchtreten läßt, sich nur schwach trübt von der geringen CO_2-Menge der atmosphärischen Luft, daß dagegen das Barytwasser in der Exspirationsflasche einen mit jeder Exspiration dicker werdenden weißen Niederschlag zeigt. In beiden Fällen handelt es sich um die Bildung von kohlensaurem Baryt $BaCO_3$. Der Unterschied ist bereits nach dem ersten Atemzuge sehr deutlich. Um festzustellen, daß es sich wirklich um kohlensauren Baryt handelt, der sich gebildet hat, wird nach Beendigung des Versuches eine größere Probe der dickgetrübten Barytlösung in ein Reagenzglas gegossen und mit einigen Tropfen HCl versetzt. Dabei löst sich der Niederschlag unter Entwickelung von CO_2-Blasen.

B. Mechanik der Atmung.

Die Aufnahme des Sauerstoffes und die Abgabe der Kohlensäure seitens des Körpers erfolgt bei den Säugetieren durch den Gaswechsel in den Lungen. Indem die Lungen innerhalb gewisser Grenzen abwechselnd eine Vergrößerung und eine Verkleinerung ihres Hohlraumes erfahren, lassen sie abwechselnd eine gewisse Quantität Luft durch die Trachea ein- und ausströmen (Inspiration und Exspiration). Die passive Vergrößerung und Verkleinerung des Lungenraumes kommt zustande durch aktive Vergrößerung und Verkleinerung des Thoraxraumes, in den die Lungen luftdicht in der Weise eingeschlossen sind, daß ihre äußere Oberfläche durch Adhäsion vollkommen dicht, aber verschieblich der inneren Thoraxwand anliegt.

Im Thoraxraum befinden sich die Lungen andauernd unter einem gewissen Zug (sog. negativer Druck im Thorax), der sich im Laufe der postembryonalen Entwickelung des Menschen allmählich dadurch herausbildet, daß das Thoraxlumen stärker wächst als die Lungenoberfläche. Da die Lungen luftdicht der inneren Thoraxwand adhärieren, so muß natürlich die Lungenoberfläche jeder Ausdehnung der Thoraxwand folgen. So werden die Lungen im Laufe der Entwickelung allmählich ausgedehnt. Daß die Lungen sich in diesem Zustande der Dehnung befinden, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man bei einem Tier ein Loch in

die Thoraxwand macht. Dann lösen sich die Lungen, dem Zug ihrer elastischen Fasern folgend, von der Thoraxwand ab und schnurren bis zu einem bestimmten Grade zusammen. Es entsteht der Zustand des Pneumothorax.

Bei jeder inspiratorischen Erweiterung des Thoraxlumens werden also die Lungen passiv noch mehr gedehnt werden, als sie es andauernd schon sind, und bei jeder exspiratorischen Verringerung desselben werden sie infolge ihrer Elastizität wieder zu einem entsprechend geringeren Dehnungszustande zurückkehren. Die Erweiterung des Thoraxlumens bei der Inspiration erfolgt durch Muskelwirkung und zwar bei ruhiger Atmung einerseits durch Kontraktion und Abflachung des im Erschlaffungszustande durch die Baucheingeweide kuppelförmig in die Höhe gedrückten Zwerchfells und andererseits durch die Intercostales externi, welche die Rippen heben und dadurch sowohl den sagittalen wie den transversalen Durchmesser des Brustkorbes vergrößern. Die Verkleinerung des Thoraxlumens bei der Exspiration erfolgt bei ruhiger Atmung im wesentlichen passiv, indem das Zwerchfell erschlafft, so daß es wieder durch die Baucheingeweide (Leber, Magen) in die Höhe gedrückt wird, und indem die Rippenheber erschlaffen, so daß der Brustkorb infolge seiner eigenen Schwere und des elastischen Zuges der Lungen wieder zusammensinkt. Bei erschwerter Atmung (Dyspnoë) treten akzessorische Atemmuskeln in Tätigkeit, und zwar bei der Inspiration die Muskeln, welche durch Hebung der Rippen und des Sternums den Brustkorb noch mehr erweitern, und bei der Exspiration die Muskeln der Bauchdecken, welche durch ihre Kontraktion die Eingeweide noch stärker gegen das Zwerchfell pressen (Bauchpresse).

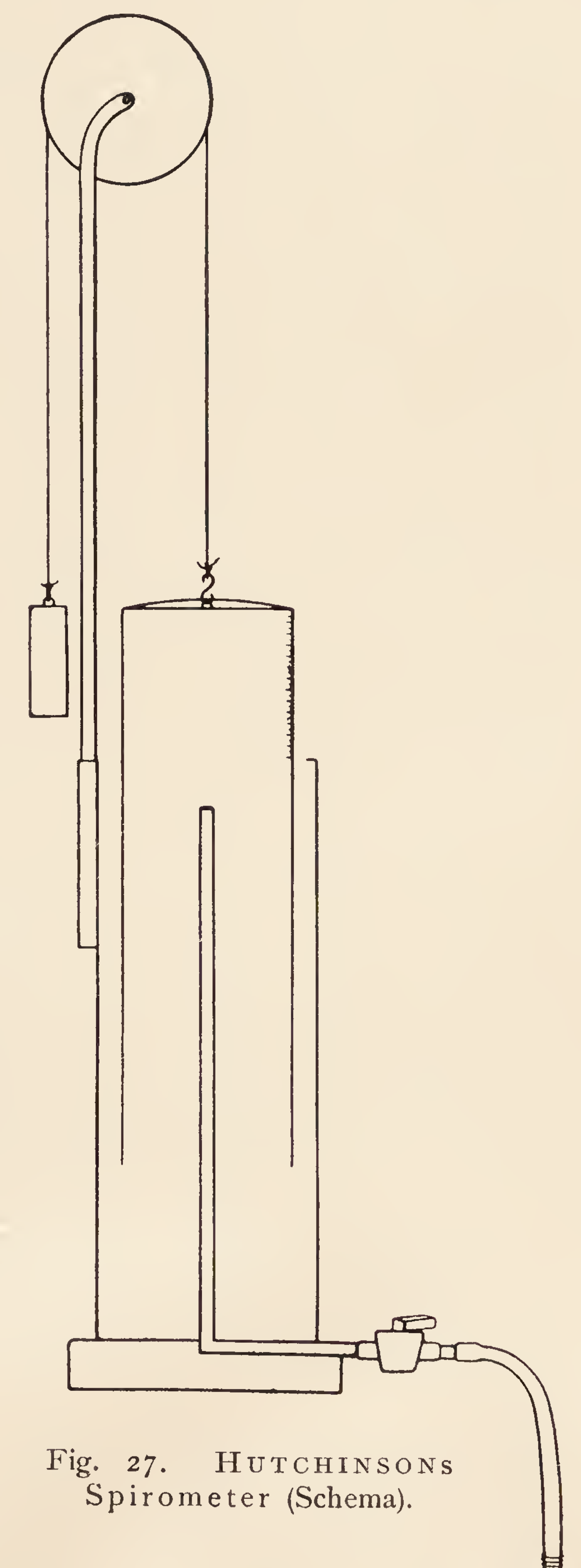


Fig. 27. HUTCHINSONS Spirometer (Schema).

1. Spirometrie.

Theoretische Vorbemerkungen. Die Spirometrie verfolgt den Zweck, die Luftvolumina zu messen, die bei der Atmung in den Lungen gewechselt werden. Zu diesem Zwecke dient das HUTCHINSONsche Spirometer und zahlreiche andere Apparate, die auf dem gleichen Prinzip beruhen. Das Spirometer (Fig. 27) besteht aus zwei Blechzylindern, von denen der größere über dem Boden einen seitlichen Tubus trägt, der sich

nach innen in eine senkrecht in der Mitte des Zylinders in die Höhe führende Röhre fortsetzt. Dieser Zylinder ist bis nahe an das obere offene Röhrenende mit Wasser gefüllt. In diesen größeren Zylinder ist umgekehrt mit seiner Öffnung nach unten ein kleiner Zylinder hineingestülpt, der an einer Seite eine nach Kubikzentimetern graduierte Skala trägt. Ist der innere Zylinder vollständig bis auf den Boden des äußeren Zylinders in das Wasser hineingesunken, so entspricht dieser Stellung der Skalenteil 0. Bläst man nun unter Vermittlung eines Ansatzrohres durch den seitlichen Tubus des äußeren Zylinders Luft in das System, so sammelt sich diese Luft an der Decke des inneren ringsherum durch Wasser abgeschlossenen Zylinders an und hebt denselben in die Höhe. An der Skala kann abgelesen werden, wieviel Kubikzentimeter Luft hineingeblasen worden sind. Damit diese Messung aber nicht fehlerhaft wird, ist es nötig, daß der innere Zylinder in vollständig labilem Gleichgewicht äquilibriert ist, so daß er dem leisesten Druck, unter dem die Luft eintritt, folgen kann und in jeder Höhenstellung stehen bleibt. Dazu dient ein empirisch bestimmtes Gewicht, das, über eine leicht bewegliche Rolle laufend, mittelst einer Schnur oben an den inneren Zylinder angreift.

Die spirometrischen Messungen am Menschen haben ergeben, daß bei ruhiger normaler Atmung nur etwa 500 ccm Luft gewechselt werden. Man bezeichnet diese Luftquantität als Respirationsluft. Indessen kann sowohl auf der Höhe einer ruhigen Inspiration durch forcierte Inspiration noch eine beträchtliche Luftquantität mehr dazu inspiriert (Komplementärluft rund 1500 ccm), als auch nach einer ruhigen Exspiration noch eine große Quantität Luft durch forcierte Exspiration dazu exspiriert werden (Reserveluft rund 1500 ccm). Die Summe dieser drei Luftquanta, also die Luftmenge, welche nach tiefster Inspiration durch stärkste Exspiration ausgeatmet wird, liefert ein Maß für die vitale Kapazität der Lungen und beträgt rund 3500 ccm beim Erwachsenen, unterliegt aber großen Schwankungen, je nach Körpergröße, Geschlecht, Übung und pathologischen Veränderungen der Lungen. Schließlich bleibt auch nach stärkster Exspiration noch ein Quantum Luft in den Lungen, das intra vitam überhaupt nicht ausgetrieben werden kann und nur auf Umwegen annähernd bestimmbar ist, das ist die Residualluft, die etwa 1000—1500 ccm beträgt.

Bestimmung der Vitalkapazität. Nachdem in das Spirometer 2000 ccm Luft hineingeblasen sind, so daß die Skala auf 2000 eingestellt ist, führt die Versuchsperson zunächst eine Reihe normaler ruhiger Atemzüge durch das Ansatzrohr aus, wobei sie mit einer Exspiration beginnt und dann während der Atmung ihre Aufmerksamkeit auf abliegende Gegenstände richtet. Ein Beobachter stellt dabei den Umfang der Volumschwankungen jedesmal fest und zieht dann aus den gewonnenen Zahlen den Mittelwert für die Respirationsluft. Nach einer kurzen Pause führt die Versuchsperson eine Reihe von Inspirationen aus dem Apparat aus, die jedesmal nach einer ruhigen Exspiration beginnen und bis zur tiefsten Inspiration forciert werden. Aus dem Mittel dieser Werte ergibt sich die Summe: Respirationsluft + Komplementärluft. Nach einer zweiten Pause

werden eine Reihe von Exspirationen in den Apparat hinein ausgeführt, die jedesmal auf der Höhe einer normalen Inspiration beginnen und bis zur stärksten möglichen Exspiration hinabgehen. Das Mittel dieser Werte ergibt die Summe: Respirationsluft + Reserveluft. Da die Respirationsluft bereits bestimmt ist, ergibt ihre Differenz mit den Werten der zweiten und dritten Reihe die Größe der Komplementärluft und die Größe der Reserveluft. Addition der Größen: Komplementärluft + Respirationsluft + Reserveluft ergeben die Vitalkapazität. Die letztere wird nunmehr auch direkt gemessen, indem nach tiefster Inspiration in den Apparat hinein so stark als möglich exspiriert wird. Es ist zweckmäßig, das erst einige Male zu üben. Dann wird aus einer Reihe solcher Bestimmungen das Mittel gezogen. Das repräsentiert die Vitalkapazität. Die vorhin berechnete Größe wird mit der hier direkt bestimmten Größe nur geringe Differenzen zeigen.

2. Graphische Verzeichnung der Atembewegungen beim Menschen.

Theoretische Vorbemerkungen. Nachdem LUDWIG im Jahre 1847 den Gedanken von JAMES WATT, die Druckschwankungen eines Dampfkesselmanometers durch Aufsetzen eines Schwimmhebels auf das Quecksilber desselben graphisch zu verzeichnen, auch in die Physiologie eingeführt und zunächst auf die Verzeichnung der Blutdruckschwankungen beim Tier angewendet hatte, wurde die „graphische Methode" in mannigfachen Modifikationen in der Physiologie bald für die Verzeichnung aller Bewegungsvorgänge des Tierkörpers allgemein gebräuchlich. So wird sie auch benutzt zur graphischen Registrierung der Atembewegungen. Beim Menschen kann diese Verzeichnung in sehr einfacher Weise dadurch erzielt werden, daß man die Bewegungen des Thorax benutzt, um durch sie Druckschwankungen auf ein abgeschlossenes, mit elastischen Wänden versehenes System zu übertragen, das mit Luft gefüllt ist und an einem Ende auf einer elastischen Membran einen Schreibhebel trägt. Bei einer solchen Fixierung der Atembewegungen im graphischen Bilde findet man, daß der rhythmische Wechsel der beiden Atemphasen (Exspiration und Inspiration) beim Menschen die mannigfachsten Schwankungen und Unterbrechungen zeigt. Jeder Sinnesreiz, jede plötzliche Konzentration der Aufmerksamkeit kann Unregelmäßigkeiten im Atemrhythmus hervorrufen.

Herrichten des Kymographions. Zunächst wird ein Kymographion zur Verzeichnung bereit gemacht. Die Kymographien bestehen aus einer Messingtrommel, die durch ein Uhrwerk oder auch durch einen elektrischen Motor in gleichmäßige Rotation versetzt werden kann (Fig. 28). Die Trommel wird mit Glanzpapier überzogen, indem man einen genügend langen Streifen auf seiner glanzlosen Rückseite erst mit einem fest ausgedrückten Schwamm feucht überstreicht, dann um die Trommel mit der glänzenden Seite nach außen glatt herumlegt und an seinen Enden mit Gummi arabicum zusammen-

klebt. Ist das Papier angetrocknet, so berußt man es, indem man die Trommel eventuell unter Benutzung eines geeigneten Gestells, über einer rußenden Gasflamme oder über der Flamme einer mit einem Petroleum-Terpentingemisch gefüllten Lampe dreht, bis sie mit einer möglichst gleichmäßigen schwarzen Rußschicht überzogen ist. Die über die Ränder der Trommel überstehenden Seiten des Papieres werden schließlich mit einem scharfen Messer, das man dicht am Rande der Trommel, stets mit der Schneide nach der Trommelachse zu drückend, entlang führt, abgeschnitten. Dann wird die Trommel vorsichtig auf das Uhrwerk aufgesetzt.

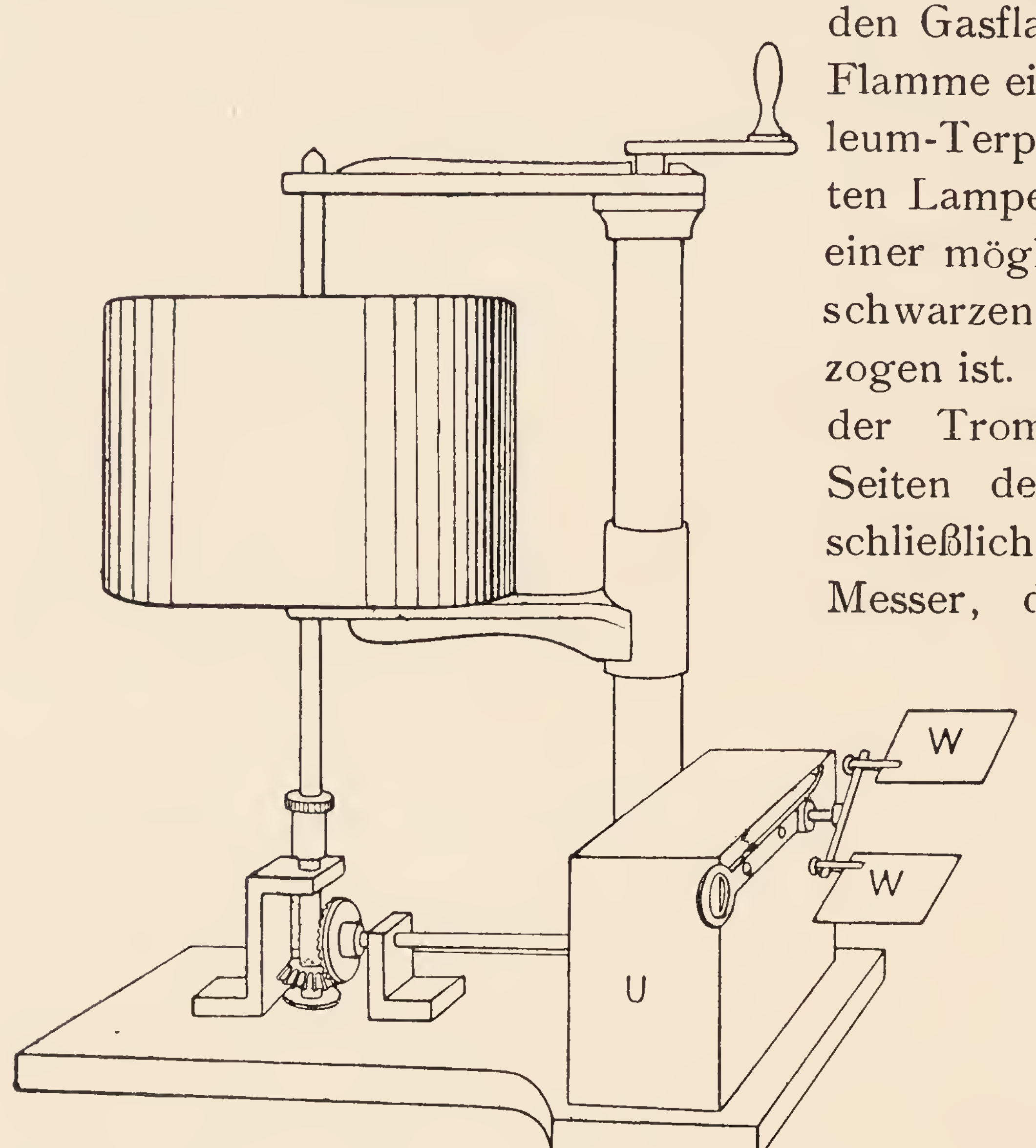


Fig. 28. Kymographion. *U* Uhrwerk, *W* Windflügel des Uhrwerkes.

Verzeichnung der Atembewegungen mit Atemflasche und Mareyscher Kapsel. Eine flache Lederflasche (Fig. 29), deren Wände nicht ganz aneinanderliegen und nach Kompression wieder in ihre Lage zurückkehren, wird mittels eines Gurtes über dem Thorax der Versuchsperson unter möglichster Vermeidung steifer Kleidungsstücke flach und nicht allzu fest aufgeschnallt. An dem Flaschenhals befindet sich ein kleiner Metalltubus, der mittels eines passenden Gummischlauches mit einer MAREYschen Kapsel (Fig. 30 und 31) verbunden wird. Die letztere besteht aus einer flachen Metallkapsel mit einem seitlichen Tubus, an dem der Gummischlauch befestigt wird.

a *b*

Fig. 29. Lederne Atemflasche. *a* von der Fläche, *b* von der Seite. Die punktierten Linien sind Nähte.

Die breite Hohlfläche der Kapsel ist überzogen mit einer Gummimembran, auf der mit einem Metallplättchen ein um eine Achse drehbarer Hebel leicht beweglich angebracht ist, so daß er alle Bewegungen der Membran mitmachen muß. Sind Atemflasche und MAREYsche Kapsel verbunden, so hat man einen geschlossenen Luftraum, der alle an der Flasche entstehenden Druckschwankungen bis zur Kapselmembran überträgt und in Hebelbewegungen umsetzt. Ist alles fertig vorbereitet, so rückt man die Schreibspitze des Hebels vorsichtig an die berußte Trommelfläche an, in der Weise, daß die Spitze etwas spitzwinklig zur Richtung, nach welcher die Trommel sich dreht, nur leicht der Oberfläche anliegt. Dann läßt man die Trommel laufen und erhält nunmehr eine Atemkurve (Fig. 32), bei der die Inspirationsphasen den aufsteigenden, die Exspirationsphasen den absteigenden Schenkeln der Kurve entsprechen. Bei jedem Anrufen, bei jeder plötzlichen Inanspruchnahme der Aufmerksamkeit, bei jeder geistigen Anstrengung (Rechenaufgaben usw.) der Versuchsperson kann man Unregelmäßigkeiten im Atemrhythmus beobachten (Fig. 32 *b*). Beim Versuch ist es daher, um möglichst gleichmäßige Atmungen zu erhalten, zweckmäßig, daß die Versuchsperson, ohne die Kurven anzusehen, an abgelegene Gegenstände denkt. Ferner lasse man die Versuchsperson gelegentlich seufzen, gähnen, sprechen,

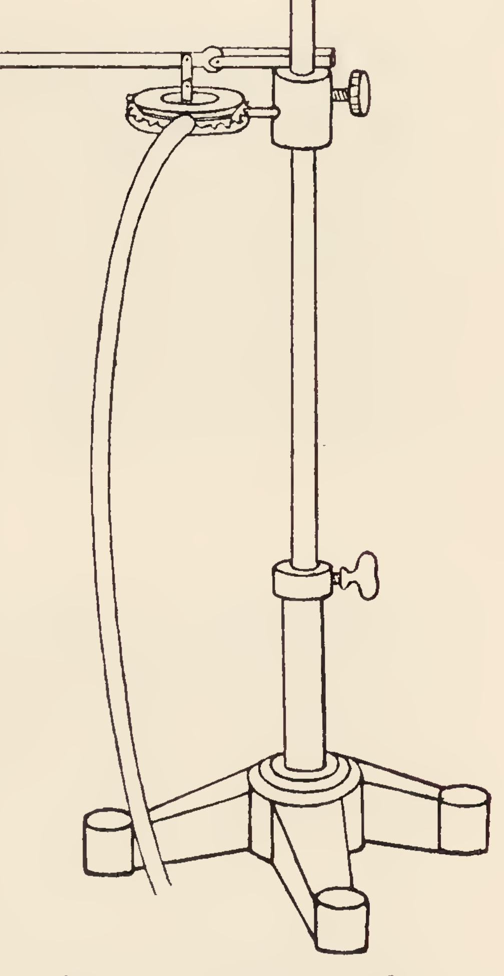


Fig. 30. MAREYsche Kapsel am Stativ.

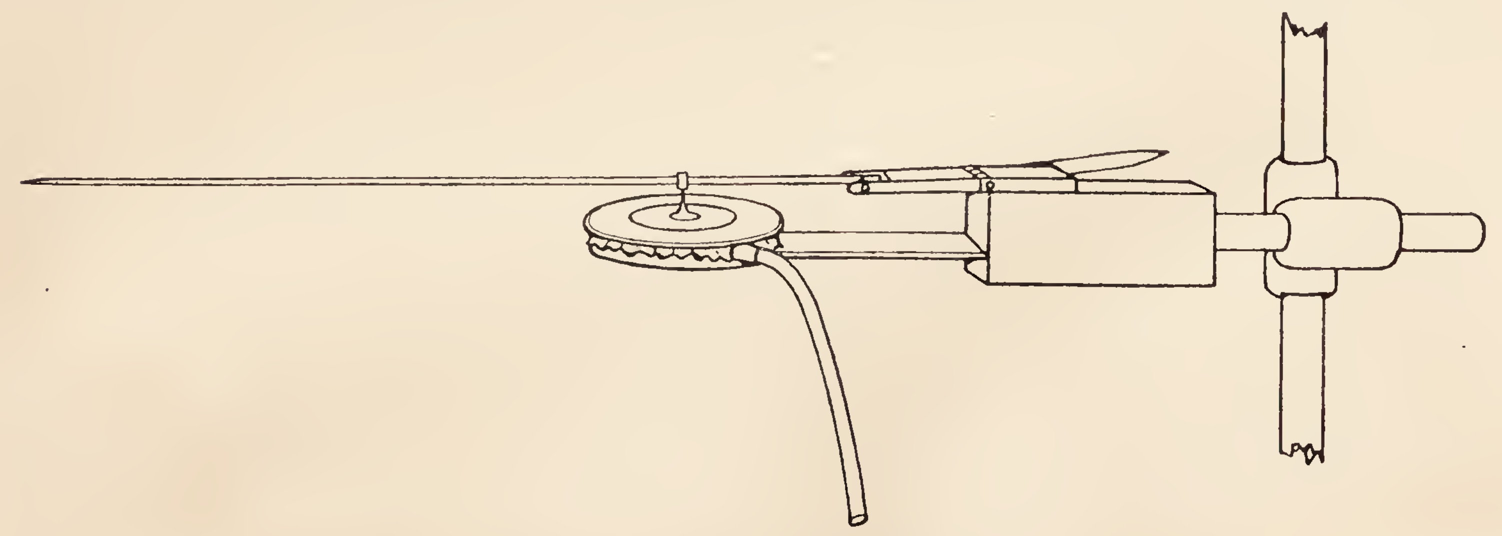
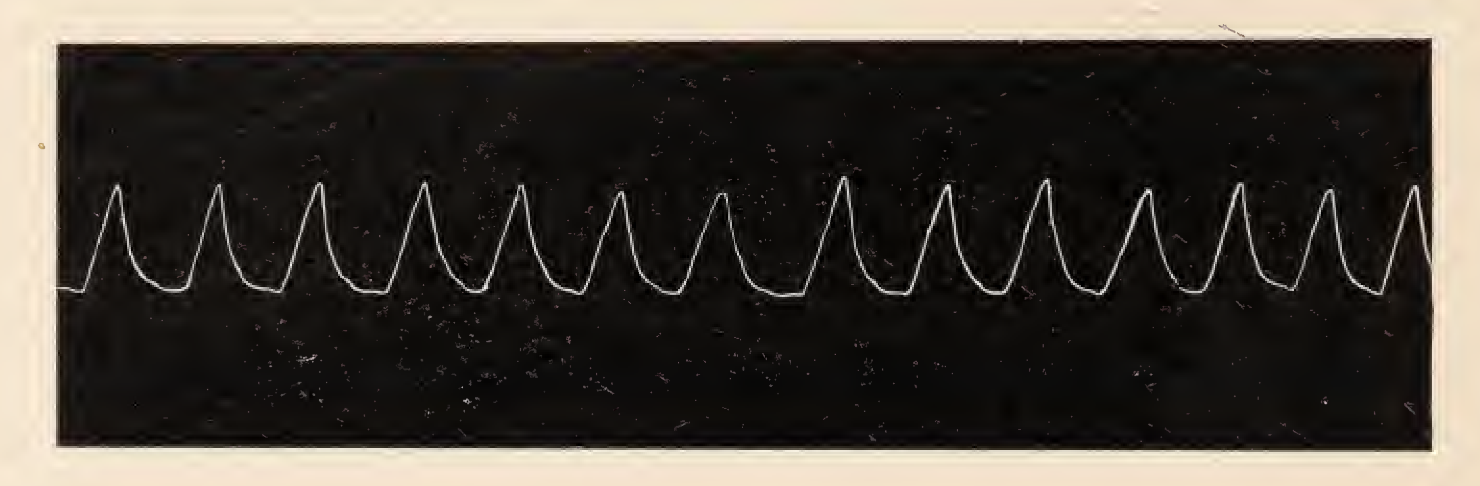


Fig. 31. MAREYsche Kapsel.

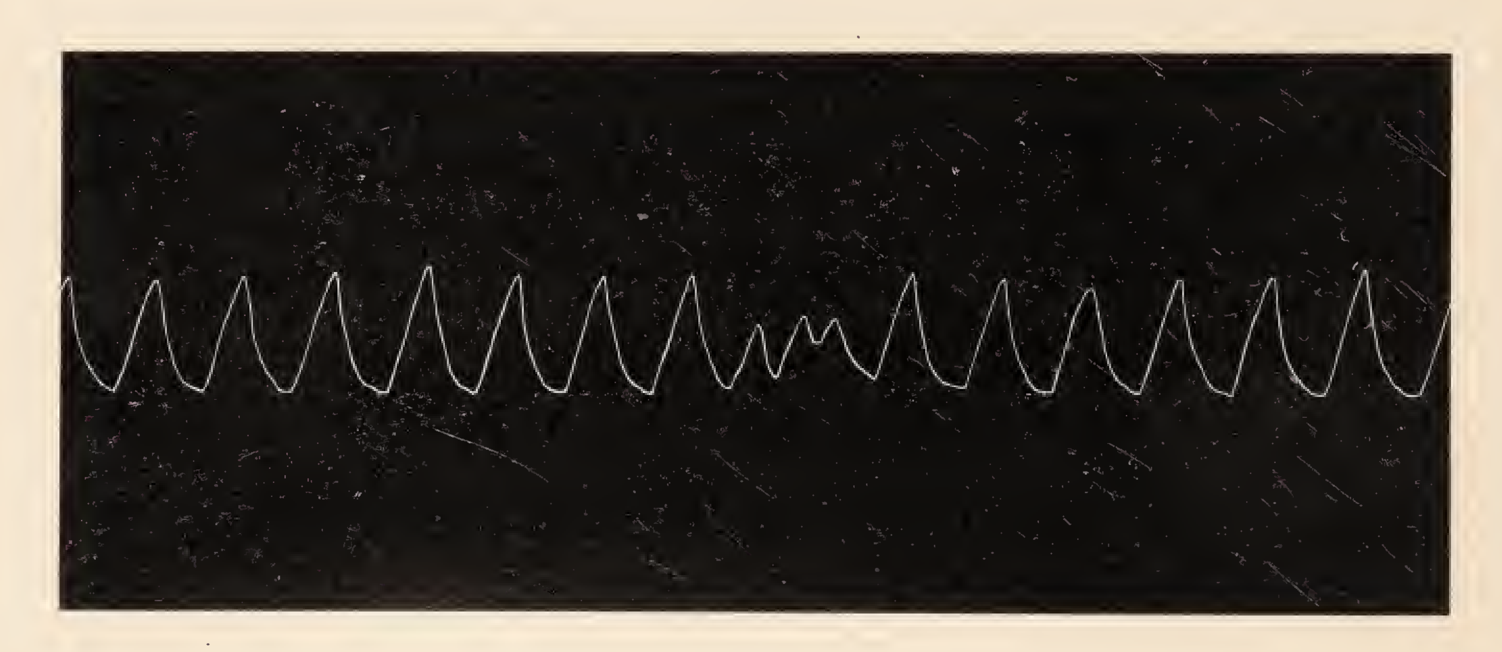
husten, lachen usw., um zu sehen, daß alle diese Tätigkeiten modifizierte Atembewegungen repräsentieren. Die Kurven werden fixiert (siehe letztes Kapitel).

3. Graphische Verzeichnung der Atmung beim Kaninchen.

Theoretische Vorbemerkungen. Beim Tier kann man leicht eine etwas genauere Verzeichnung der Atmung dadurch erzielen, daß man den Luftstrom direkt in das geschlossene System, in dem sich die MAREYsche Kapsel befindet, mit einschließt. In diesem Falle ist es aber nötig, um auch nur für die Zeitdauer eines kurzen Versuches Atembeschwerden (Dyspnoë) zu vermeiden, daß man in dem System ein größeres Luftreservoir hat, aus dem das Tier atmen kann.



a



b

Fig. 32*a* und *b*. Atemkurven vom Menschen. Die Unregelmäßigkeit in *b* rührt von einer Inanspruchnahme der Aufmerksamkeit her.

Narkotisierung des Tieres durch Chloralhydrat. Ein Kaninchen wird eine Stunde vor dem Versuch narkotisiert, indem man ihm 1 ccm einer Chloralhydratlösung (100:100) subkutan mit einer PRAVAZschen Spritze injiziert (Fig. 33) Diese Injektion geschieht in folgender Weise. Nachdem man die PRAVAZsche Spritze mit der Chlorallösung gefüllt, eventuelle Luftblasen in der oben (p. 54) geschilderten Weise ausgetrieben und den dabei entstandenen Verlust in der Spritze durch Nachsaugen von Lösung wieder gedeckt hat, führt man zunächst die Kanüle (Nadel) der Spritze für sich unter die Haut des Tieres. Zu diesem Zweck hebt man eine Hautfalte der Rückenhaut zwischen Daumen und Zeigefinger der linken Hand in die Höhe und sticht mit der Rechten die Kanüle horizontal unterhalb

und in der Mitte zwischen Daumen und Zeigefinger der Linken in die Hautfalte hinein, wobei man mit den Fingern der Linken fortwährend prüft, ob die Nadelspitze auch gut verschiebbar im Unterhautbindegewebe liegt und nicht etwa in der Haut oder im Muskel gefangen ist. Hat man sich von der richtigen Lage der Nadel überzeugt, so setzt man die gefüllte Spritze auf und schiebt den Stempel langsam hinein. Dabei ist darauf zu achten, daß nicht etwa wegen Undichtigkeit der Spritze die Lösung nebenbei herausfließt. Ist die Injektion beendigt, so verreibt man zwischen den Fingern durch die Haut hindurch ein wenig die Flüssigkeitsmasse unter der Haut und macht dann, wenn nötig, an einer anderen Stelle eine zweite Injektion.

Fig. 33. Pravazsche Spritze mit Kanüle. (Natürliche Größe.)

Verzeichnung der Atmung mittels Mareyscher Kapsel. Nachdem das Tier auf den Kaninchenhalter aufgebunden (p. 45) und nachdem der Hals geschoren ist (p. 46), wird die Tracheotomie gemacht und eine Trachealkanüle eingebunden (p. 47). Auf das Querstück der Trachealkanüle wird ein ca. 5 cm langes Gummischlauchstück aufgesetzt, das vorläufig offen bleibt. Die dritte Öffnung der Trachealkanüle wird mit einer etwa 10 l fassenden Flasche verbunden, die mit Luft gefüllt ist und nur ein wenig Wasser enthält (um die Luft feucht zu erhalten) und deren Hals mit einem doppelt durchbohrten, zwei Knieröhren tragenden Gummistopfen verschlossen ist (Fig. 34). Die Flasche wird so gelagert, daß die eine Knieröhre, die möglichst kurz und nicht zu eng sein muß, recht nahe an die Trachealkanüle herangebracht werden kann, damit ein recht kurzes und weites Stück Gummischlauch genügt, um sie mit der Trachealkanüle zu verbinden. Die Verbindung von der Trachea zur Flasche muß möglichst wenig Widerstand für das Durch-



Fig. 34. Luftflasche für die Atmung des Kaninchens.

streichen der Luft bieten, da sonst das Tier leicht dyspnoisch wird. Das zweite Knierohr der Flasche wird durch einen längeren Gummischlauch mit der an einem Stativ befindlichen MAREYschen Kapsel verbunden. Schließt man jetzt den seitlichen Ansatzschlauch der Trachealkanüle durch eine Klemme ab, so pflanzen sich die Druckschwankungen der Lungenluft durch das ganze System bis zum Schreibhebel fort und können mit der Hebelspitze graphisch verzeichnet werden. Man erhält dann Atemkurven von großer Regelmäßigkeit, bei denen die aufsteigenden Schenkel den Exspirations-, die absteigenden den Inspirationsphasen entsprechen. Bei Tieren, die stark narkotisiert sind, zeigen die Exspirationsphasen der Kurve auf ihrer Höhe ein horizontales Plateau (exspiratorische Pause) von geringerer oder größerer Ausdehnung, während bei nicht oder nur schwach narkotisierten Tieren die Exspirationsschenkel auf der Höhe der Kurve ohne Pause in die abfallenden Inspirationsschenkel umbiegen (Fig. 35). Die Kurve wird fixiert (siehe letztes Kapitel).

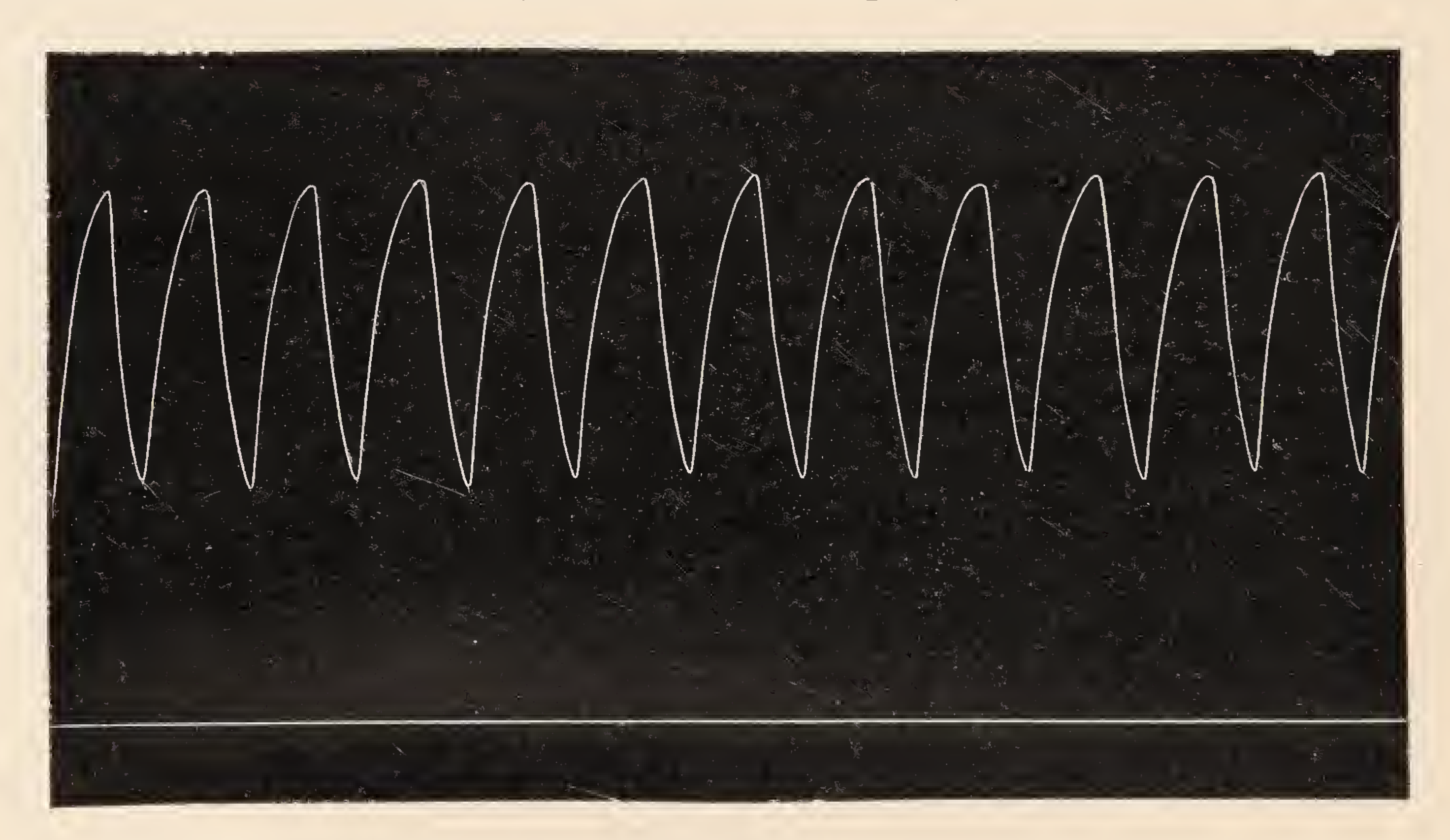


Fig. 35. Atemkurve eines schwach narkotisierten Kaninchens.

4. Modell der Zwerchfellatmung.

Theoretische Vorbemerkungen. Man kann sich von den passiven Bewegungen der Lungen, die zur Inspiration und Exspiration der Atemluft führen, auch an den ausgeschnittenen Lungen eine Anschauung verschaffen, wenn man die herauspräparierten Lungen eines Tieres in einen geschlossenen Raum bringt, aus dem ihre innere Oberfläche nur durch die Trachea mit dem äußeren Medium kommuniziert. Wenn dieser Raum durch eine tote Membran luftdicht abgeschlossen ist, so kann man an dieser Membran die rhythmischen Bewegungen des Zwerchfells und damit die entsprechenden Vergrößerungen und Verringerungen des Rauminhaltes nachahmen, die zum Entfalten und Kollabieren der Lungen führen.

Herstellung des Modells für die Zwerchfellatmung. Der Versuch wird am besten an den vorhergehenden oder folgenden angeschlossen in der Weise, daß nach Beendigung beider das Kaninchen durch Verblutenlassen aus den Carotiden getötet wird. An dem toten Tier wird, ohne daß die Trachealkanüle zunächst herausgenommen wird, die Brusthöhle geöffnet, indem der mediane Hautschnitt des Halses über den Thorax verlängert, die Haut beiseite gezogen, die Muskelschicht mit Pinzette und Schere abpräpariert und die vordere Thoraxwand unter seitlicher Durchschneidung der Rippen reseziert wird. Dann werden die Lungen mit der Trachea sehr vorsichtig bei sorgsamer Vermeidung einer Verletzung der Lungenoberfläche oder der Bronchien mit der Schere unter Führung des Zeigefingers der linken Hand aus der Brusthöhle gelöst, von Ösophagus und Herz getrennt und schließlich unter der Wasserleitung äußerlich abgespült, wobei ein Hineinlaufen von Wasser in die Trachea zu verhindern ist. In der leeren Brusthöhle sieht man sich die kuppelförmige Hochwölbung des Zwerchfells an. Inzwischen hat man eine Schweinsblase in Wasser gut eingeweicht und bindet nun etwa in die Mitte ihrer Fläche eine ca. 2 cm große Korkkugel ein, die nachher als Handhabe dienen kann. Diese Blase wird auf eine Flasche ohne Boden vollkommen luftdicht durch vielmaliges Herumführen eines nassen Bindfadens so aufgebunden, daß sie nicht allzustraff gespannt ist und daß der eingebundene Korkkopf sich außen in der Mitte der Fläche befindet. Der Gummistopfen dieser Flasche ist doppelt durchbohrt und trägt zwei gerade Glasröhren, von denen die eine unten einen kleinen Sattel besitzt, über den die Lungen mit der Trachea aufgebunden werden, während die andere oben außen mit einem eingeschliffenen Glashahn versehen ist. Die Lungen werden nun vorsichtig durch den Hals in die Flasche eingeführt, wobei der Sauberkeit wegen ein Anwischen der Lungenoberfläche an die innere Flaschenwand zu vermeiden ist, und schließlich wird der Gummistopfen fest aufgesetzt (Fig. 36). Nunmehr kann man den natürlichen Dehnungs-

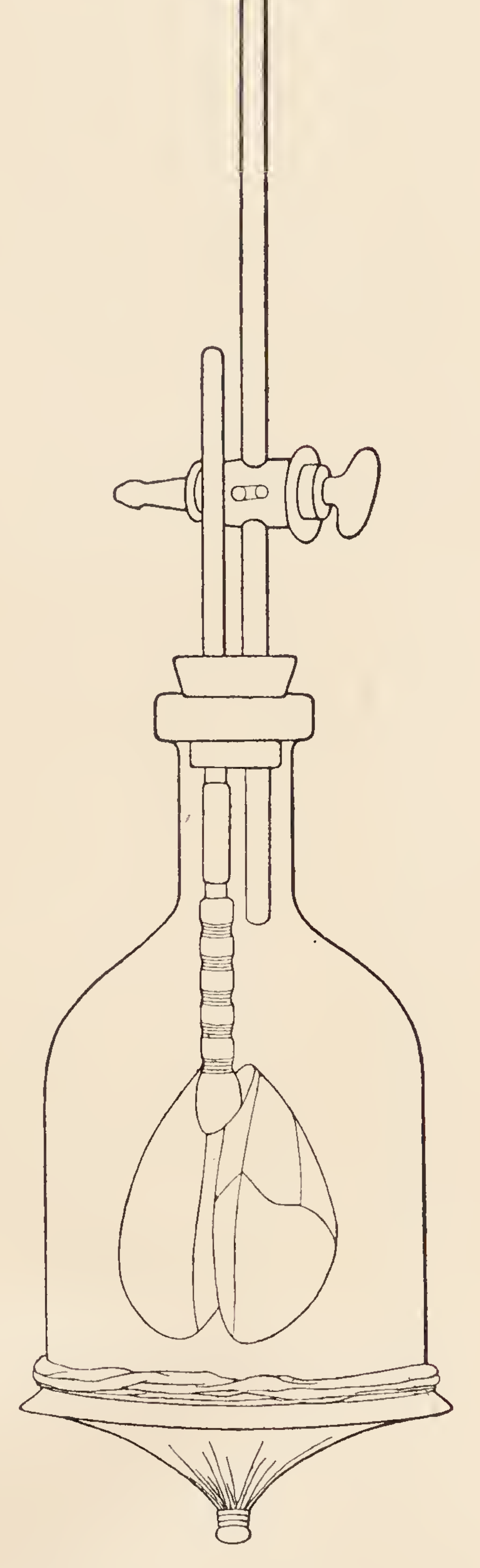


Fig. 36. Modell für die Zwerchfellatmung.

zustand, den die Lungen im geschlossenen Thoraxraum besitzen, nachahmen, indem man durch die zweite Glasröhre bei geöffnetem Hahn nach und nach etwas Luft aus der Flasche aussaugt, so daß in der Flasche ein negativer Druck entsteht, der gleichzeitig eine kuppelförmige Hochwölbung der das Zwerchfell repräsentierenden Schweinsblase herbeiführt. Dieser negative Druck bleibt bei geschlossenem Hahn, wenn alles luftdicht ist, dauernd bestehen. Es darf aber bei diesem Modell nie vergessen werden, daß es in einem wesentlichen Punkte der Wirklichkeit nicht entspricht. Im geschlossenen Thorax des lebendigen Tieres befindet sich kein Luftraum zwischen Thoraxwand und Lungenoberfläche! Die Lungenoberfläche liegt der Thoraxwand resp. die beiden Pleurablätter liegen einander, nur durch eine kapillare Flüssigkeitsschicht getrennt, luftdicht an: Es ist also in Wirklichkeit auch kein Raum vorhanden, in dem ein negativer Druck bestände, sondern der Zug, den die Thoraxwand auf die elastischen Lungen ausübt, wird direkt vermittelt durch die kapillare Flüssigkeitsschicht zwischen Lungenoberfläche und Thoraxwand resp. zwischen den beiden Pleurablättern. Das Modell ist also nicht vollkommen getreu und man darf sich nie durch dasselbe verführen lassen, sich im Geiste die Lungen frei im Thoraxraum hängend vorzustellen. Wenn man das im Auge behält, kann man sich aber die passiven Atembewegungen der Lungen, wie sie durch die Zwerchfellatmung hervorgebracht werden, an dem Modell recht anschaulich machen. Zieht man nämlich an dem Knopf die Schweinsblase kräftig herab (Kontraktionsphase des Zwerchfells), so entfalten sich die Lungen stärker und füllen sich stärker mit Luft (Inspiration), läßt man mit dem Zug wieder nach (Erschlaffungsphase des Zwerchfells), so kollabieren die Lungen wieder mehr und treiben die Luft durch die Trachea nach außen hin aus (Exspiration). Auch die Wirkung des Pneumothorax, wie er nach Eröffnung des Thoraxraumes durch Verletzungen (Schuß, Stich usw.) entsteht, kann man an dem Modell beobachten, wenn man den Hahn der zweiten Glasröhre, die nicht zu eng sein darf, öffnet. Dann sieht man die Lungen bei Exspirationsstellung der Zwerchfellmembran kollabieren, und wenn man nunmehr die Atembewegungen des Zwerchfells mit der Schweinsblase nachahmt, findet man, daß die Entfaltung der Lungen bei der Inspiration eine viel unvollkommenere ist als vorher, weil bei dem Herabziehen der Blase die Luft von außen her nicht nur durch die Trachea in die Lungen, sondern auch durch die andere Kanüle (Wunde) in den Thoraxraum einströmt.

Schließlich sei nochmals davor gewarnt, aus dem Modell falsche Vorstellungen über die Einfügung der Lungen im Thoraxraum abzuleiten!

C. Innervation der Atmung.

Da die sämtlichen Muskeln, welche die rhythmischen Veränderungen des Thoraxlumens bei der Atmung bewirken, quergestreifte Muskeln sind, die keine automatischen Bewegungen ausführen, so müssen ihnen die Impulse für ihre Tätigkeit vom Zentralnervensystem her zugeführt werden. Das geschieht von seiten des in der Medulla oblongata gelegenen Atemzentrums. Von hier aus verlaufen die motorischen Nerven zum Rückenmark, treten dann in verschiedenen Niveaus vom 2. Halsnervenpaar an abwärts mit Hals- und Brustnerven aus und gehen zu den Atemmuskeln. Das Zwerchfell speziell wird versorgt vom Phrenicus, dessen Fasern aus dem 3. und 4. Halsnervenpaar stammen. Wie alle Zentra der Medulla oblongata (Herzvaguszentrum, Vasokonstriktorenzentrum, motorisches Sammelzentrum usw.), kann das Atemzentrum, das nur einen physiologisch speziell differenzierten Teil des allgemeinen motorischen Sammelzentrums für die Körpermuskeln bildet, beeinflußt werden einerseits direkt durch Einwirkungen an Ort und Stelle, andererseits indirekt auf dem Wege zentripetal hinzutretender Nerven.

Eine indirekte Beeinflussung des Atemzentrums findet im intakten Körper statt durch Veränderungen im Sauerstoffgehalt des Blutes. Vor allem wirkt Sauerstoffmangel in der Weise auf das Zentrum, daß eine forcierte Atmung entsteht, die als „Dyspnoë“ bezeichnet wird. Aber auch giftige Stoffe, die im Blute kreisen, wie z. B. die Produkte angestrengter Muskeltätigkeit (sogenannte Ermüdungsstoffe) usw. können das Atemzentrum direkt erregen. Dauert Sauerstoffmangel längere Zeit an, so geht die forcierte Tätigkeit des Atemzentrums in Lähmung über, die Atmung hört auf. Das ist der Fall bei der Erstickung, bei der alle Zentra der Medulla oblongata zuerst erregt, dann gelähmt werden.

Eine direkte Beeinflussung des Atemzentrums auf dem Wege zentripetal zu ihm führender Nervenbahnen kann auf den verschiedensten Wegen der Gehirn- und Rückenmarksnerven stattfinden. Besonders bemerkenswert sind die zentripetalen Fasern, welche von den Lungen her im Vagus verlaufen und zum Atemzentrum hinaufgehen. Diese zentripetalen Vagusfasern (nicht zu verwechseln mit den zentrifugalen Vagusfasern, die von der Medulla oblongata zum Herzen gehen und den Hemmungsnerv des Herzens bilden!) vermitteln eine fortwährende Beeinflussung der Atmung von den Lungen her. Werden die beiden Vagi am Halse durchschnitten, so wird die Atmung verlangsamt und vertieft. Daß der Vagus zentripetal zum Atemzentrum gehende Fasern führt, davon kann man sich überzeugen durch elektrische Reizung des zentralen Stumpfes. Man bekommt dabei je nach der Stärke des Reizes und je nach dem Zustand des Tieres (Narkose, Ermüdung des Zentrums usw.) eine Verflachung oder einen vollkommenen Stillstand der Atmung. Die Nervenenden dieser Fasern in den Lungen werden, wie Hering und Breuer gezeigt haben, im intakten Tier bei normaler Atmung durch den jeweiligen Ausdehnungszustand der Lungen beeinflußt, in der Weise, daß jede Dehnung der Lungen bis zu einem bestimmten Grade, wie sie bei jeder Inspiration stattfindet, auf reflektorischem Wege die Exspirationsphase und jedes Kollabieren der Lungen bis zu einem bestimmten Grade, wie es bei der Exspiration erfolgt, die Inspirationsphase auslöst. Das deutet auf das Vorhandensein zweier verschiedener

Faserarten und Nervenenden in den Lungen hin. Die Lungen dehnen sich und kollabieren also bei der normalen Atmung infolge dieser „Selbststeuerung der Atmung" nicht über einen bestimmten Grad hinaus. Durchschneidet man dagegen die beiden Vagi, so fällt diese Selbststeuerung fort und sowohl die Füllung als die Entleerung der Lungen wird eine umfangreichere. Andere Nerven, in denen zentripetale Fasern zum Atemzentrum verlaufen, sind der Laryngeus superior, der Trigeminus der Nase, der Phrenicus, die Hautnerven. Bei Reizung der Enden des Laryngeus superior resp. der Schleimhaut des Kehlkopfes treten heftige, abrupte, bisweilen krampfhafte Exspirationsbewegungen auf (Husten, Exspirationskrampf bei Einatmung beizender Gase). Ebenso erfolgt bei Reizung der Trigeminusenden in der Nasenschleimhaut eine abrupte Exspiration. (Niesen). Bei Reizung der Phrenicusenden im Zwerchfell durch heftige Kontraktion desselben wird eine Exspiration ausgelöst. Reizung der Temperaturnervenenden der Haut durch Kälte vertieft, durch Wärme verflacht die Atmung. Schließlich kann bekanntlich auch vom Großhirn her (willkürlich) die Atmung in mannigfacher Weise beeinflußt werden.

Präparation der Nervi vagi am Halse. Die Präparation der Nervi vagi am Halse geschieht folgendermaßen. Nachdem das Kaninchen nur schwach narkotisiert (s. p. 64), der Hals geschoren, die Tracheotomie gemacht und eine Trachealkanüle eingebunden ist (s. p. 47), trennt man durch stumpfe Präparation (s. p. 49) den lateral gelegenen Sternomastoideus (Fig. 37) von dem mehr medial gelegenen Sternohyoideus und zieht beide Muskeln etwas voneinander. In der Tiefe sieht man die Carotis liegen. Indem man den Sternomastoideus mit der Pinzette zur Seite zieht, betrachtet man die Lage der neben und unter der Carotis ziemlich dicht beieinander verlaufenden Nerven. Hier liegt am meisten lateral der dicke, an seiner silberweiß glänzenden Farbe erkennbare Vagus. Neben ihm medialwärts und etwas tiefer läuft als äußerst dünnes weißes Fädchen der Depressor, dessen Fasern, von der Aorten- und Herzwand kommend, beim Kaninchen nicht wie bei vielen anderen Säugetieren und dem Menschen im Vagusstamm, sondern getrennt als selbständiges Nervenbündel verlaufen. Noch weiter medianwärts und tiefer liegt der im Gegensatz zum Vagus mehr grauweiße und etwas dünnere Sympathicus (Fig. 37). Der Vagus ist in der Regel ohne weiteres lateral neben der Carotis zu sehen. Depressor und Sympathicus liegen unter der Carotis und zum größten Teil von ihr verdeckt. (In Fig. 37 ist die Carotis so gezeichnet, daß beide Nerven neben ihr zum Vorschein kommen, der Sympathicus medial, der Depressor lateral.) Man präpariert den Vagus auf beiden Körperseiten, indem man die Muskeln in der Wunde mit der Pinzette in der linken Hand nach außen hält und mit der rechten mittels eines Schlingenführers am Nerven entlang fahrend das Bindegewebe vom Nerven ablöst, so daß man den Schlingenführer unter dem Nerven hin-

durchdrücken und darauf einen Faden unter ihm hindurchziehen kann. Dabei ist darauf zu achten, daß man nur den Vagus, nicht zugleich auch einen der anderen Nerven mit bekommt, und selbstverständlich

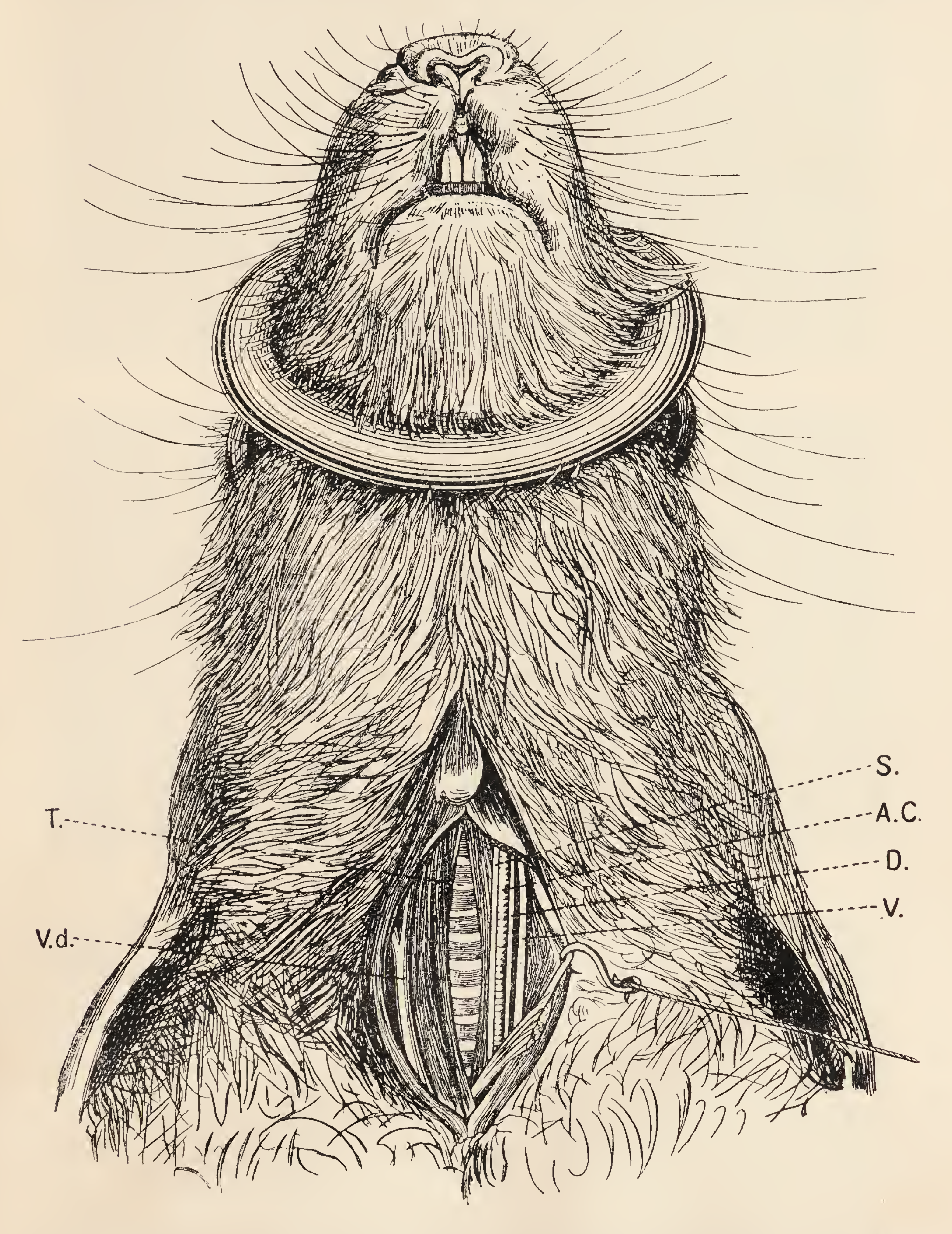
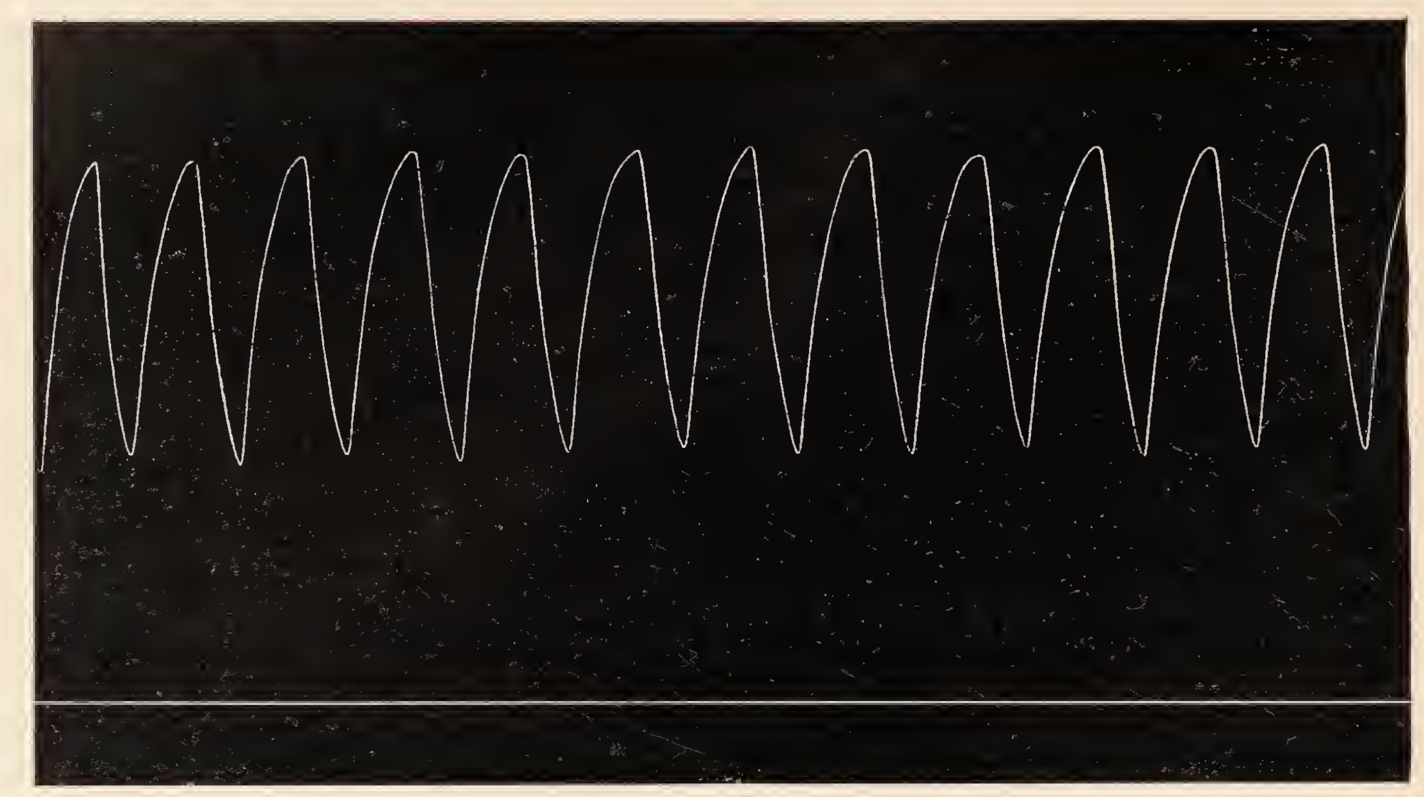
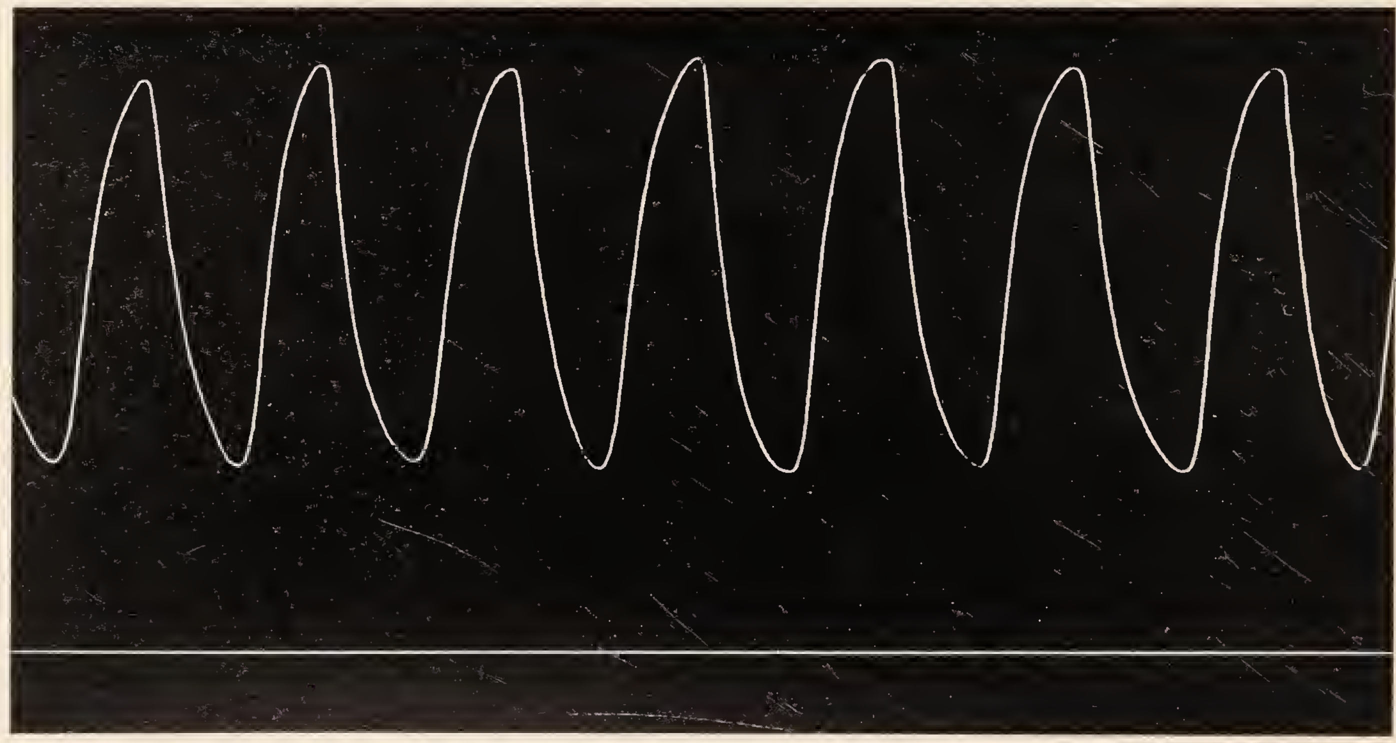


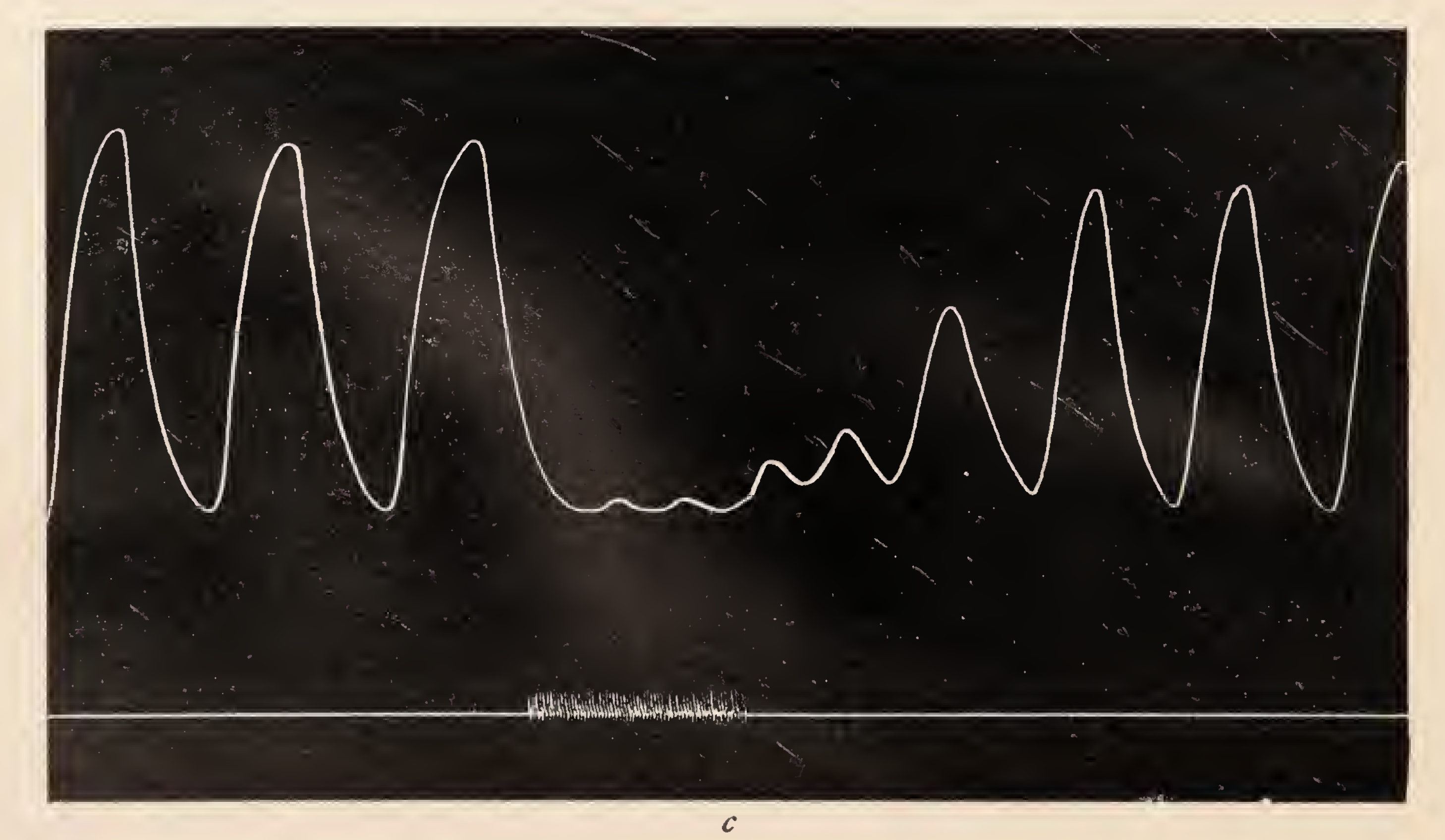
Fig. 37. Halssitus vom Kaninchen. Auf der linken Körperseite des Tieres ist der Sternomastoideus nebst der Haut durch einen Haken beiseite gezogen. Man sieht in der Medianlinie die Trachea (*T.*), dann lateralwärts vorschreitend den Nervus sympathicus (*S.*), die Arteria carotis (*A. C.*), den Nervus depressor (*D.*) und den Nervus vagus (*V.*). Auf der rechten Seite des Tieres ist neben und auf der Trachea der M. sternohyoideus zu sehen (links ebenfalls sichtbar) und lateralwärts davon der M. sternomastoideus. Nach außen vom letzteren tritt die Vena jugularis dextra (*V. d.*) hervor.



a



b



c

Fig. 38 *a—c*.

ist, wie immer, ein Anfassen der Nerven mit der Pinzette sorgsam zu vermeiden. An dem untergelegten Faden, der vorläufig nicht zugeschlungen wird, kann der Nerv in die Höhe gehoben und nun ebenfalls stumpf, aber unter Vermeidung allzustarker Zerrung weiter vom Bindegewebe gelöst werden, so daß er schließlich auf eine Strecke von etwa 2 cm frei liegt.

Einfluß der Nervi vagi auf die Atmung. Um den Einfluß der zentripetalen Vagusfasern auf die Atmung zu studieren, verzeichnet man zunächst in der oben geschilderten Weise (p. 65) eine Reihe normaler Atmungen. Hat man ganz gleichmäßige Kurven erhalten, so schlingt man mit den untergeschobenen Fäden die beiden Vagi nacheinander in der Weise an, daß man die Schlinge möglichst weit nach unten (!) hin, d. h. nach dem Thorax zu anlegt und fest zuzieht. Dann schneidet man unterhalb des Knotens, also nach dem Thorax hin die beiden Nerven mit der Schere durch und entfernt das eine Fadenende an jedem Nerven, so daß man die zentralen Stümpfe der Nerven nun mit dem Faden handhaben kann. Gleich nach der Durchschneidung der beiden Vagi bemerkt man, daß die Atmungskurven viel höher und ihre Abstände voneinander viel größer geworden sind (Fig. 38*a* und *b*). Das bedeutet, daß die Atmung vertieft und verlangsamt ist. Wenn das Tier einige Zeit aus der großen Vorlageflasche geatmet hat, läßt man in dieselbe wieder frische Luft eintreten und läßt inzwischen das Tier unter Öffnung des Gummischlauchstückes aus der Trachealkanüle direkt atmen, sonst wird das Tier zu stark dyspnoisch. Dann stellt man die alte Anordnung wieder her, verzeichnet wieder eine Reihe von Atemkurven, wartet eventuell bis sie wieder gleichmäßig hoch geworden sind und geht nun zur Reizung des zentralen Vagusstumpfes über. Zu diesem Zwecke hat man ein galvanisches Element durch Vermittlung eines Quecksilberschlüssels und eines als Reizschreiber fungierenden DESPRETZschen Signals (siehe letztes Kapitel) mit dem NEEFschen Hammer der primären Spirale eines DU BOIS-REYMONDschen Schlitteninduktoriums verbunden (siehe letztes Kapitel) und von der sekundären Spirale des Induktoriums zwei Drähte zu den Platindrahtelektroden abgeleitet. Ist die Schreibspitze des Reizschreibers an die berußte Trommelfläche in einigem Abstand genau senkrecht unterhalb der Schreibspitze des Atemschreibhebels angelegt, so wird die sekundäre Rolle zunächst auf einen mittleren Abstand von der primären eingestellt. Nunmehr hebt man den zentralen Stumpf des einen Vagus, ohne ihn stark zu

Fig. 38*a*—*c*. Atmungskurven vom Kaninchen. *a* normale Atmung, *b* Atmung nach Vagusdurchschneidung auf beiden Seiten, *c* Reizung des zentralen Vagusstumpfes. Auf der unteren Linie ist die Dauer der Reizung verzeichnet.

zerren, an seinem Faden mit der linken Hand in die Höhe und hält mit der rechten die Platinelektroden daran. Dann läßt man von jemandem den Quecksilberschlüssel des primären Stromkreises schließen, so daß nunmehr während der Dauer der Reizung der Schreibhebel des Reizschreibers im Rhythmus des NEEFschen Hammers spielt und seine Bewegung in Form einer feinen Kurve auf seiner horizontalen Linie verzeichnet. Es ist notwendig, daß man den erforderlichen Rollenabstand für die Reizung jedesmal empirisch ausprobiert. Dabei findet man, daß bei einer gewissen Stromstärke die Atmungskurven wieder viel niedriger werden, und daß bei einer noch etwas größeren Stromstärke die Atmung nahezu oder gänzlich stillsteht. Der Schreibhebel bleibt in Inspirations-, oder wenn das Tier stärker narkotisiert resp. ermüdet ist, in Exspirationsstellung (Fig. 38*c*) stehen und zeichnet nur noch schwache Andeutungen von Atembewegungen oder sogar eine gerade Linie. Es ist zweckmäßig, immer nur wenige Sekunden zu reizen und dann eine Pause zu machen, ehe man von neuem reizt, sonst ermüdet das Zentrum durch die andauernde Reizung zu schnell. Nach dem Aufhören der Reizung kehren die Atembewegungen sofort wieder zurück und stellen sich schnell wieder in der alten gleichmäßigen Form her. Ermüdet man das Zentrum durch langdauernde Reizungen, so brechen die Atembewegungen während der Reizung in unregelmäßiger Weise durch. Man kann aber, wenn der eine Vagus keine guten Erfolge mehr gibt, durch den anderen, noch nicht gereizten Vagus von neuem die typische Wirkung erzielen.

Nach Schluß des Versuches tötet man das Tier, indem man die beiden Carotiden am Halse durchschneidet und das Tier verbluten läßt.

Die Kurve wird fixiert (siehe letztes Kapitel).

IV. Blut.

A. Zusammensetzung des Blutes.

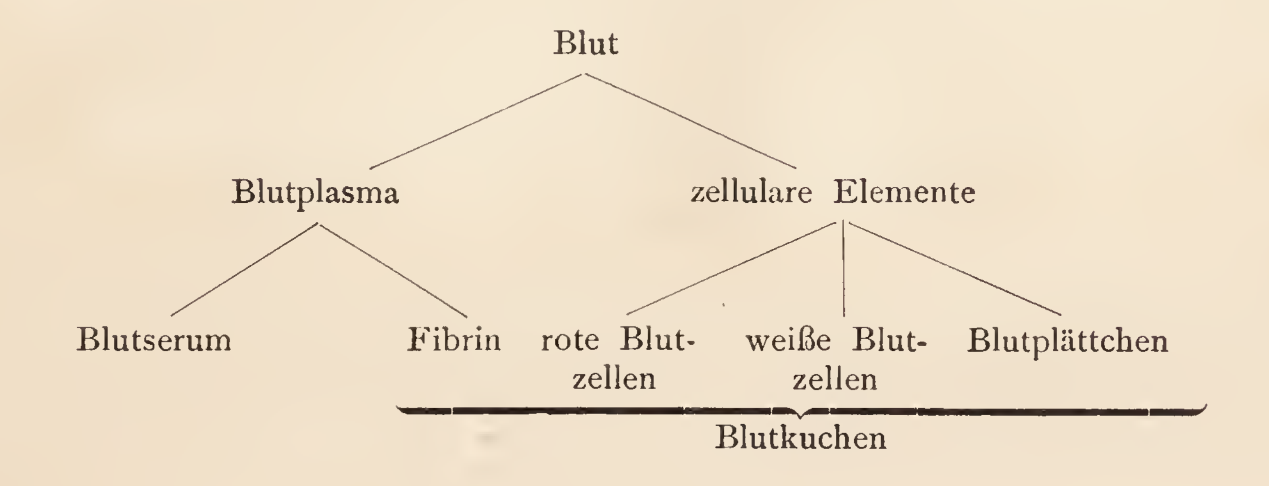
Sämtliche Nahrung, die vom Körper verwertet wird, gelangt in die Körpersäfte Blut und Lymphe. Das gilt sowohl für die feste und flüssige Nahrung, die durch den Verdauungstraktus in den Körper gelangt und hier teilweise erst durch den Verdauungsakt in lösliche Formen übergeführt wird, als auch für die gasförmige Nahrung, den Sauerstoff, der durch die Lungen in den Körper eintritt. Die Überführung der Nahrungsstoffe in das Blut geschieht durch den Resorptionsakt. Von der Resorption seitens der Darmwand wissen wir durch die Arbeiten HEIDENHAINS, daß sie nicht durch einfache Filtration und Osmose, sondern

durch den aktiven Stoffwechselchemismus der Epithelzellen besorgt wird. Von der Überführung des Sauerstoffes aus den Lungen in das Blut ist das gleiche durch BOHR nachgewiesen worden, doch denken noch heute einzelne Physiologen an einen bloßen Diffussionsprozeß. Vom Blute aus aber werden die aufgenommenen Nahrungsstoffe wiederum durch einen aktiven Sekretionsvorgang, d. h. durch den Stoffwechselchemismus der Kapillarepithelzellen, an die umgebenden Lymphräume abgegeben, und so gelangen diese Stoffe in die Lymphe, die alle Zellen des Körpers in unmittelbarem Kontakt bespült. Blut und Lymphe tragen also die sämtlichen Nahrungsstoffe zu allen Organen des Körpers und bilden die gemeinsamen Nährlösungen für alle Körperzellen.

Auf der anderen Seite nimmt die Lymphe auch alle von den Körperzellen abgeschiedenen Stoffwechselprodukte auf, und aus ihr gelangen diese wiederum teils durch einen aktiven Resorptions- und Sekretionsvorgang seitens der Kapillarepithelzellen, teils direkt durch die großen Lymphstämme ins Blut, das sie teils zu den Entgiftungsorganen (Leber, Schilddrüse, Nebenniere usw.), wo sie erst chemisch unschädlich gemacht, teils zu den Ausscheidungsorganen (Nieren, Haut, Lunge usw.), wo sie aus dem Körper entfernt werden, hinträgt.

So bilden Blut und Lymphe gleichzeitig Nährlösung und Spülflüssigkeit für den Körper. Sie bringen den Zellen die Nahrung ins Haus und besorgen die Abfuhr.

Das Blut stellt eine kolloïdale Flüssigkeit vor, in der zellulare Elemente in ungeheuerer Individuenzahl suspendiert sind. Die Flüssigkeit selbst, das „Blutplasma", enthält, der doppelten Funktion des Blutes entsprechend, eine große Menge von verschiedenartigen organischen und anorganischen Stoffen gelöst. Der kolloïdale Charakter des Blutplasmas rührt von den Eiweißkörpern her, die bei weitem die Hauptmasse der gelösten Stoffe ausmachen. Alle anderen Nährstoffe sind jeweilig nur in geringen Mengen, die Stoffwechselprodukte der Zellen nur in äußerst geringen Mengen im Blute vorhanden. Die zellularen Bestandteile des Blutes bilden die roten Blutzellen (Erythrozyten), die weißen Blutzellen (Leukozyten) und die Blutplättchen. Bleibt Blut auch nur kurze Zeit außerhalb des lebenden Körpers stehen, so gerinnt das Plasma, d. h. es scheidet sich ein fester Eiweißkörper, das Fibrin, in Flocken- oder Faserform aus und bildet, indem es die Blutzellen beim Gerinnen einschließt, den sog. Blutkuchen, der als gallertartige Masse erscheint. Indem sich ganz allmählich der Blutkuchen mehr und mehr zusammenzieht, preßt er eine hellgelbe klare Flüssigkeit aus, das Blutserum, das alle wesentlichen Stoffe des Blutplasmas außer dem Fibrin enthält.



1. Die mikroskopischen Bestandteile des Blutes.

Theoretische Vorbemerkungen. Die drei Arten von zellularen Elementen des Blutes (rote Blutkörperchen, Leukozyten und Blutplättchen) lassen sich folgendermaßen charakterisieren. Die roten Blutzellen sind beim Menschen und fast allen Säugetieren kreisrund und bikonkav. Sie stellen einseitig funktionell differenzierte Zellen vor, deren Kern während ihrer Entwickelung zugrunde gegangen ist. Länglich-elliptische Blutzellen ohne Kern besitzen nur das Lama, Kamel und ihre nächsten Verwandten. Die roten Blutzellen der Vögel, Reptilien, Amphibien und Fische sind dagegen sämtlich elliptisch und besitzen noch ihren Zellkern. Die Größe der roten Blutzellen beim Menschen ist sehr gering. Ihr Durchmesser beträgt 7,5 μ. Die kleinsten roten Blutzellen hat das Moschustier, 2,5 μ, die größten der Olm (Proteus), 58,2 μ. Die Zahl der roten Blutzellen ist so groß, daß sie sich im Blute dicht drängen. Beim Menschen beträgt ihre Zahl ca. 4,5 Millionen (Frauen) bis 5 Millionen (Männer) im Kubikmillimeter. Ihr Zellkörper besteht aus dem wabig gebauten Protoplasma (Stroma), dessen Wabenräume von dem Blutfarbstoff, dem Hämoglobin, erfüllt sind. Ihre physiologische Funktion ist die Übertragung von Sauerstoff aus den Lungen zu den Gewebezellen. Die weißen Blutzellen (Leukozyten, Phagozyten, amöboide Wanderzellen) sind ungefärbte Zellen von amöboider Beweglichkeit, mit einem runden oder lappig eingeschnürten Kern. Je nach ihrer Größe und Kernbeschaffenheit pflegt man verschiedene Arten zu unterscheiden, ohne sie jedoch vorläufig funktionell voneinander genügend trennen zu können. Ihre Zahl im Blute ist wesentlich kleiner als die der roten Blutzellen. Es kommt auf 300—400 rote immer nur eine weiße Blutzelle. Die Leukozyten sind nicht auf das Blut beschränkt. Sie finden sich in den Lymphräumen aller Gewebe in großer Menge und kriechen selbständig im Körper umher. In den Lymphdrüsen und der Milz sind größere Stationen von ihnen. Ihre physiologischen Funktionen sind mannigfaltig. Sie bilden einen Schutz gegen Infektionskrankheiten, indem sie entweder durch positive Chemotaxis nach den Bakterienprodukten (vgl. p. 28) die Infektionsstelle aufsuchen und die Bakterien auffressen (Phagozyten Metschnikoffs) oder indem sie Stoffe produzieren, welche die Bakteriengifte unschädlich machen (Alexine Buchners). Wichtig sind sie für die Blutgerinnung, durch die sich der Körper vor Verblutung schützt. Schließlich scheinen sie wesentlich am Transport und an der Umwandlung der ins Blut gelangenden Nahrungsstoffe beteiligt zu sein und beseitigen die aus dem Zellzerfall stammenden „Elementarkörnchen" des Blutes. Die Blutplättchen sind erst in neuerer Zeit als eigene zellulare Elemente mit amöboidem Protoplasma und einem Zellkern erkannt worden. Sie sind äußerst hinfällig und gehen im Blute außerhalb des Körpers sofort zugrunde. Ihre physiologische Funktion ist vorläufig noch ganz unbekannt.

Mikroskopische Betrachtung der Blutzellen des Menschen. Die roten Blutzellen verändern ihre Gestalt, sobald sich der osmotische Druck des Mediums ändert. Wird er größer als der des Blutplasmas, so schrumpfen sie durch Wasseraustritt stechapfelförmig zusammen, wird er kleiner, so quellen sie auf resp. zerfließen ganz (in destilliertem Wasser) unter Austritt des Hämoglobins. Um sie außerhalb des

Blutgefäßes zu betrachten, ist es daher bei der enormen Zahl, in der sie im Blute über- und nebeneinander gedrängt liegen, nötig, das Blut mit einer Flüssigkeit zu verdünnen, die etwa denselben osmotischen Druck hat wie das Blut. Man kann dazu reines Serum oder Speichel (nicht schaumig) nehmen. Dabei verfährt man folgendermaßen. Nachdem man eine Fingerbeere der linken Hand mit Seife gut abgewaschen und mit Alkohol abgespült hat, glüht man über der Bunsenflamme die Spitze einer scharfen und spitzen Lanzette (Fig. 39) oder eines federnden Schnäppers kurz aus und macht einen kleinen Einstich in die seitlich fest komprimierte Fingerbeere. Einen kleinen Tropfen Blut, den man unter Herabhängenlassen des Armes und der Hand herauspreßt, bringt man mit einem reichlichen Tropfen reinen Serums oder Speichels auf den Objektträger, bedeckt ihn mit einem Deckglas und betrachtet ihn mikroskopisch. Man findet eine sehr große Menge runder, bikonkaver, roter Blutzellen (schwach gelblich erscheinend) und nur wenige blasse rundlich zusammengezogene Leukozyten.

Zum Vergleich bringt man ein zweites Tröpfchen Blut in eine 10proz. Kochsalzlösung und betrachtet sie unter dem Mikroskop. Die roten Blutzellen sind sämtlich stechapfelförmig geschrumpft.

Schließlich bringt man ein drittes Tröpfchen mit einer reichlichen Menge destillierten Wassers auf den Objektträger und verfolgt das Schicksal der roten Blutzellen sofort unter dem Mikroskop. Man sieht, wie die roten Blutzellen aufquellen, blaß werden (Blutschatten) und schließlich zerfließen.

Sehr schön läßt sich auch die Form der roten Blutzellen im mikroskopischen Trockenpräparat fixieren. Die Herstellung solcher trocknen „Strichpräparate" ist vielleicht der einfachste und bequemste Weg zur mikroskopischen Demonstration der roten Blutzellen. Man entnimmt auf die oben angegebene Weise einer Fingerbeere ein kleines Tröpfchen Blut, wischt es über ein Deckglas und legt ein zweites Deckglas auf die Blutschicht des ersten. Dann verreibt man kurz die Blutschicht zwischen den beiden Deckgläsern und zieht beide Deckgläser voneinander ab. Schließlich läßt man auf jedem Deckglas die Blutschicht antrocknen und legt die Deckgläser mit der Schicht nach unten zur Beobachtung auf einen Objektträger. Diese trockenen Präparate konservieren die Gestalt der roten Blutzellen in vortrefflicher Weise. Auch die geldrollenförmige Anordnung der roten Blutzellen ist häufig sehr schön zu sehen.

Fig. 39. Lanzette.

Mikroskopische Betrachtung der Blutzellen vom Frosch. Man dekapitiert einen Frosch, indem man ihn mit Zeigefinger und Daumen der linken Hand fest in die Lenden faßt und ihm mit einem scharfen Scherenschnitt plötzlich den Kopf oberhalb der oberen Extremitäten abschneidet. Von dem herausfließenden Blute nimmt man eine kleine Spur mit einem Glasstabe auf und rührt es in einem Tropfen physiologischer Kochsalzlösung (0,6—0,8 Proz. NaCl) um. Dann betrachtet man eine Probe der Flüssigkeit unter dem Deckglas mit dem Mikroskop. Man findet eine große Menge von länglich elliptischen, bikonvexen, roten Blutzellen, die viel größer sind als die roten Blutscheiben des Menschen und einen deutlichen hellen Kern in dem gelblich gefärbten Protoplasma erkennen lassen. Außerdem sieht man hier und dort einen kugelig oder unregelmäßig gestalteten blassen Leukozyten, der viel kleiner ist als die roten Blutzellen.

Zählung der Blutzellen beim Menschen. Die Zählung der Blutzellen geschieht am besten mit dem ABBE-ZEISSschen Apparat.

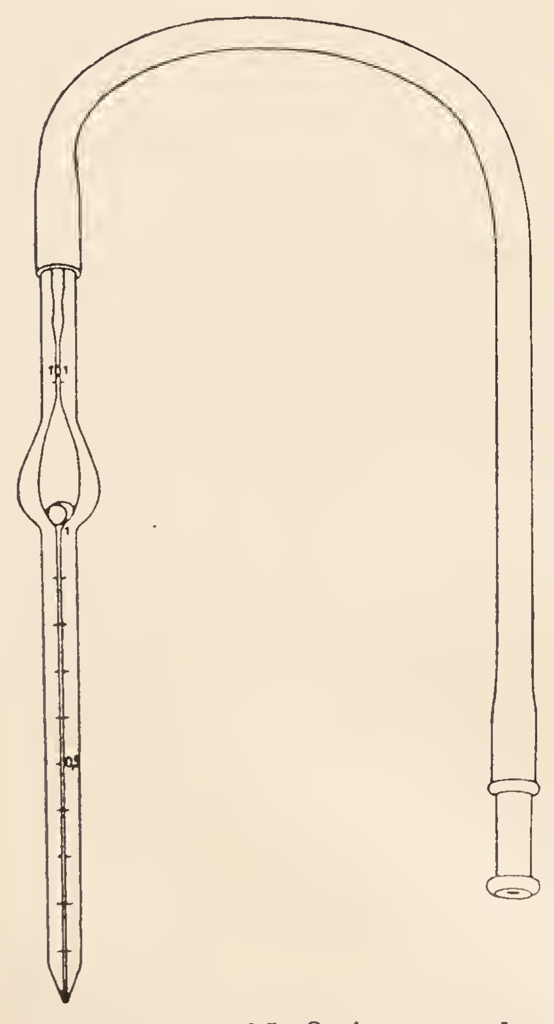


Fig. 40. Maßpipette des ABBE-ZEISSschen Blutzellenzählapparates. ½ nat. Größe.

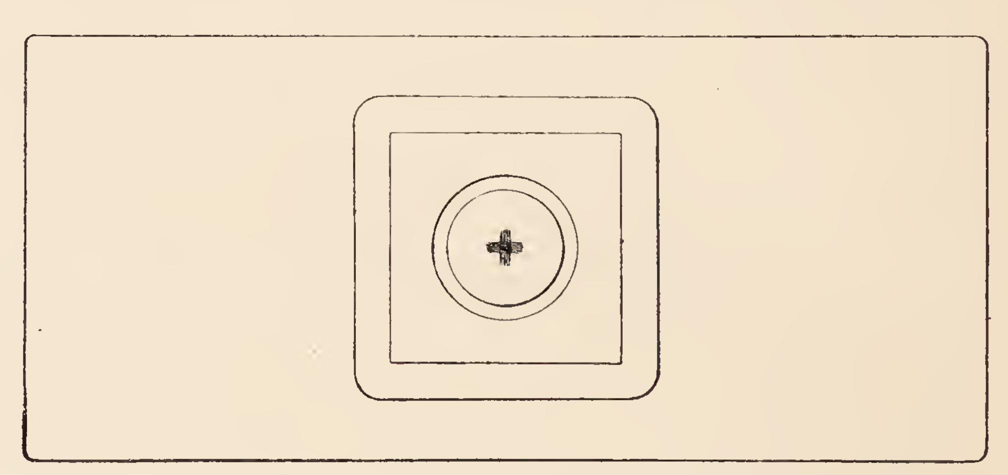


Fig. 41. Objektträger des ABBE-ZEISSschen Blutzellenzählapparates. Nat. Größe.

Dieser kleine Apparat besteht aus zwei Teilen, der Maßpipette (Fig. 40) und dem graduierten Objektträger (Fig. 41). Die Maßpipette (Fig. 40) stellt eine spitze enge, mit einer birnenförmigen Erweiterung versehene Glasröhre vor, die an ihrem Ende einen offenen Gummischlauch mit einem Mundstück zum Ansaugen trägt. Die Pipette ist so graduiert, daß sie nur die Skalenteile 0,5, sowie 1 und schließlich 101 trägt. In der Glasbirne befindet sich eine Glasperle, die beim Schütteln der Pipette die Mischung des Blutes mit der verdünnenden Kochsalzlösung besorgt. Indem man wie oben, p. 77, ein kleines Tröpfchen Blut aus der Fingerbeere hervorpreßt, saugt man,

ohne lange zu warten, in die trockene Maßpipette mit dem Munde ganz vorsichtig eine Quantität Blut hinein und zwar genau bis zu dem Skalenteil 0,5. Am besten wird die Entnahme von zwei Personen in der Weise ausgeführt, daß derjenige, welcher den Blutstropfen liefert, die Spitze der Maßpipette genau in den Tropfen hält, so daß keine Luft mit hinaufgesaugt werden kann, während der andere vorsichtig an der Pipette saugt und dabei die Skala genau beobachtet. Dabei ist gewissenhaft dafür zu sorgen, daß keine Luft mit dem Blute zusammen angesaugt wird. Darauf trocknet man die Spitze der Pipette ganz sorgfältig ab und saugt nun genau bis zu dem Skalenteil 101 eine 1 proz. Kochsalzlösung nach. Ist das geschehen, so mischt man durch längeres Umschütteln beide Flüssigkeiten gut durcheinander und hat nun eine 200fache Verdünnung des Blutes, in der die einzelnen Blutzellen in genügend weiten Zwischenräumen voneinander liegen, so daß sie eine Zählung gestatten. Hätte man anfangs Blut bis zu dem Teilstrich 1 der Pipette und dann Kochsalzlösung bis 101 aufgesaugt, so hätte man nur eine 100fache Verdünnung des Blutes, die ebenfalls eine Zählung, vor allem der Leukozyten, gut gestattet. Nachdem man die Verdünnung und Mischung sorgfältig ausgeführt hat, bläst man zunächst einige Tropfen des verdünnten Blutes aus der Pipette heraus und verwirft sie, weil ja in dem engen Teil der Pipette keine Mischung eingetreten ist und man daher bei Benutzung des ersten Tropfens falsche Werte bekommen würde. Darauf wischt man die Spitze der Pipette mit Watte sorgfältig ab und tut nun einen Tropfen des verdünnten Blutes auf den zweiten Teil des Apparates, den graduierten Objektträger. Dieser Objektträger (Fig. 41) trägt in seinem mittleren Teil eine ringförmige Rinne, die ein kreisförmiges Feld umgrenzt. Auf dem kreisförmigen Felde, dessen Niveau ein wenig tiefer gelegen ist als das Niveau der Umgebung, befindet sich ein System von rechtwinklig sich kreuzenden Linien, die eine Anzahl mikroskopischer Quadrate abteilen. Auf dieses Mittelfeld bringt man einen Tropfen des verdünnten Blutes, bedeckt denselben mit einem Deckglas und saugt etwa übergetretene Flüssigkeit sorgfältig mit Fließpapier ab, so daß das Deckglas vollkommen dicht aufliegt. Abstand des Deckglases von dem Niveau des Mittelfeldes und Größe der Quadrate sind so abgemessen, daß der Raum über jedem Quadrat einem Inhalt von $^1/_{4000}$ cmm entspricht. Man führt nun unter dem Mikroskop die Zählung in der Weise aus, daß man die Zahl der roten Blutzellen über einer ganzen Anzahl von Quadraten feststellt und aus ihr den Mittelwert berechnet. Je mehr Quadrate man berücksichtigt hat, um so genauer wird die Zählung. So gewinnt man die Zahl der roten Blutzellen des verdünnten Blutes in einem Raum von $^1/_{4000}$ cmm. Diese Zahl multipliziert man zunächst

mit 4000 und dann, der Verdünnung entsprechend, mit 200, resp. mit 100, und erhält so die Zahl der roten Blutzellen in 1 cmm Blut. Um die Methode so zu beherrschen, daß man annähernd konstante Werte von derselben Person erhält, ist es notwendig, die Zählungen zu üben und größte Genauigkeit im Abmessen usw. anzustreben. Nach jeder Zählung ist der Objektträger sowohl wie die Pipette sehr sorgsam zu reinigen. Ersterer wird mit destilliertem Wasser abgewaschen und gut abgetrocknet, letztere wird zunächst mehrmals mit destilliertem Wasser vollgesaugt und ausgeblasen, dann in der gleichen Weise mit absolutem Alkohol und darauf mit Äther ausgespült. Schließlich wird der Gummischlauch der Pipette abgenommen, weil dieser häufig noch Feuchtigkeit oder gar Speichel enthält, und statt dessen wird der Schlauch eines Gebläses (vgl. p. 51, Fig. 24) an der Pipette befestigt. Mit dem Gebläse (also nicht mit dem Munde, da die Exspirationsluft mit Wasserdampf gesättigt ist) wird Luft durch die Pipette geblasen, bis letztere von jeder Spur Flüssigkeit getrocknet ist. Versäumt man das oder macht man es nachlässig, so trocknet die Glasperle leicht an die Wand der birnenförmigen Erweiterung an und man kann die Pipette nicht wieder gebrauchen.

Die Zahl der Leukozyten kann in derselben Weise festgestellt werden, doch setzt man dazu zweckmäßig der zur Verdünnung benutzten Kochsalzlösung etwas Methylenblau zu, um die Leukozyten besser sichtbar zu machen.

Lackfarbigmachen des Blutes. Unter Deckfarben versteht man in der Malerei Farben, die in dünner Schicht undurchsichtig sind, unter Lackfarben solche, die darunter gelegene Zeichnungen erkennen lassen. Das Blut repräsentiert eine Deckfarbe, weil die dicht gedrängte Masse der Blutzellen das Licht nicht durchfallen läßt, sondern reflektiert. Man kann das Blut aber in eine Lackfarbe überführen durch alle Mittel, die das wabige Protoplasma (Stroma) der roten Blutzellen zerstören. Das geschieht z. B. durch Verdünnung mit destilliertem Wasser. Dabei werden die roten Blutzellen durch Osmose zerstört (siehe p. 77). Oder man kann die Blutzellen zerstören durch Schütteln mit Äther oder häufiges Gefrieren- und wieder Auftauenlassen, oder Durchleiten von häufigen elektrischen Schlägen, oder Zusatz von Alkalien oder von Blutserum anderer Tierarten usw.

Es werden in zwei Reagenzgläser je 5—10 ccm Rinderblut getan. Die eine Probe wird mit etwas Äther versetzt und stark geschüttelt. Ihre Farbe wird dunkel. Alsdann breitet man auf einer Glasplatte von beiden Proben eine Schicht nebeneinander aus und legt die Glasplatte auf ein beschriebenes oder bedrucktes Papier. Das normale Blut läßt die Schrift nicht durch seine Schicht erkennen,

es ist deckfarbig; das mit Äther geschüttelte Blut läßt alle Buchstaben deutlich durch seine Schicht lesen, es ist lackfarbig geworden.

2. Das Hämoglobin.

Theoretische Vorbemerkungen. Das Hämoglobin, der Blutfarbstoff, ist diejenige chemische Verbindung, welche die Wabenräume der roten Blutzellen erfüllt und als Sauerstoffüberträger dient zwischen Lungen und Gewebezellen der Organe. Durch Zerstören des „Stromas" der roten Blutzellen (siehe Lackfarbigmachen des Blutes) wird das Hämoglobin frei und man erhält eine Hämoglobinlösung, aus der man das Hämoglobin auskristallisieren lassen kann. Es kristallisiert fast bei allen Tieren nach dem rhombischen, nur beim Eichhörnchen nach dem hexagonalen System. Chemisch ist das Hämoglobin eine eisenhaltige Eiweißverbindung (vgl. p. 2). Beim Kochen zerfällt diese Verbindung einerseits in eisenfreies Eiweiß, das Globin, und andererseits in einen eisenhaltigen Farbstoff, und zwar bei Sauerstoffabschluß in Hämochromogen, bei Sauerstoffanwesenheit in Hämatin. Den Blutfarbstoff kann man benutzen, um sogar die ältesten Spuren von Blut noch nachzuweisen, indem man das durch seine charakteristisch gefärbten Kristalle ausgezeichnete Chlorhämatin oder Hämin herstellt. Die Übertragung des Sauerstoffs durch das Hämoglobin geschieht dadurch, daß das Hämoglobin Sauerstoff locker chemisch bindet, sobald Sauerstoff in seiner Umgebung vorhanden ist, daß es aber den Sauerstoff wieder abgibt, sobald der Partiardruck des Sauerstoffs in der Umgebung wieder sinkt. Im Lungenblut entsteht daher die Sauerstoffverbindung des Hämoglobins, das Oxyhämoglobin, in den Gewebekapillaren dagegen, wo ein starker Verbrauch von Sauerstoff seitens der Gewebezellen stattfindet, sinkt der Partiardruck des Sauerstoffs im Blutplasma durch Abgabe von Sauerstoff an die Lymphe und weiterhin an die von ihr bespülten Zellen und das Hämoglobin wird infolgedessen wieder reduziert. Das Oxyhämoglobin stellt also ein Sauerstoffdepot vor, aus dem der Sauerstoff ins Blutplasma, in die Lymphe, in die Gewebezellen abfließt in dem Maße, wie er von den letzteren verbraucht wird. Selbstverständlich können Hämoglobinlösungen auch außerhalb des Körpers mit Sauerstoff zu Oxyhämoglobin oxydiert und durch Reduktionsmittel zu einfachem Hämoglobin reduziert werden. Lösungen von Oxyhämoglobin und Lösungen von reduziertem Hämoglobin sind sowohl durch ihre Farbe als durch ihr Spektrum leicht voneinander zu unterscheiden. Oxyhämoglobinblut (arterielles Blut) ist hellrot, reduziertes Blut (venöses Blut) ist schwärzlich purpurrot. Oxyhämoglobinlösungen zeigen im grünen Teil des Spektrums zwischen den Fraunhoferschen Linien D und E zwei voneinander getrennte Absorptionsstreifen, Lösungen von reduziertem Hämoglobin nur einen einzigen breiten Streifen. Ebenso wie mit Sauerstoff kann das Hämoglobin sich auch mit Kohlenoxyd (CO) zu Kohlenoxydhämoglobin verbinden, doch besitzt das CO eine viel stärkere Affinität zum Hämoglobin als der O_2 und kann infolgedessen durch Aufhebung des Partiardrucks von CO in der Umgebung nicht wieder vom Hämoglobin getrennt werden. Infolge seiner stärkeren Affinität vertreibt auch das CO den O_2 aus dem Oxyhämoglobin und macht dadurch die roten Blutkörperchen zur weiteren Übertragung von O_2 im Körper unfähig. Darauf beruht die Gefahr der

CO-Vergiftung. Die Hämoglobinmengen, die mit CO beladen sind, können nicht mehr durch künstliche Atmung zur Aufnahme von O_2 veranlaßt werden. Hat sich daher bei der CO-Vergiftung so viel Hämoglobin mit CO verbunden, daß das noch freie Hämoglobin nicht mehr genügt, um den ganzen Körper mit O_2 zu versorgen, so stirbt der Organismus an Erstickung. Ist noch genügend freies Hämoglobin da, so erholt sich der Organismus wieder, indem allmählich die mit CO beladenen roten Blutzellen zugrunde gehen und neue CO-freie gebildet werden. Die Farbe des CO-Hämoglobinblutes ist kirschrot (ähnlich dem Oxyhämoglobinblut). Sein Spektrum zeigt ebenfalls zwei Absorptionsstreifen im Grün, die aber im Vergleich mit denen des Oxyhämoglobins ein klein wenig nach dem kurzwelligen Teil des Spektrums (nach Violett) hin verschoben erscheinen. Die normale Menge des Hämoglobins im Blute kann bei gewissen Krankheiten vermindert sein. Es ist daher diagnostisch wichtig, den Hämoglobingehalt des Blutes zu prüfen.

Arteriellmachen und Venösmachen des Blutes. Von frisch aus dem Schlachthause besorgtem, geschlagenem Rinderblut werden je 5—10 ccm in zwei Reagenzgläser gebracht. Zu dem einen Reagenzglas werden einige Tropfen sog. gelben Schwefelammoniums $(NH_4)SH$ (Ammoniumhydrosulfid) zugesetzt, das stark reduzierend wirkt, indem es unter Sauerstoffaufnahme und Wasserabspaltung in Ammoniumpolysulfide von der Formel $(NH_4)_2S_n$ übergeht. Beide Reagenzgläser werden darauf stark geschüttelt und einige Minuten stehen gelassen. Das mit $(NH_4)SH$ versetzte Blut ist dunkelpurpurn, fast schwarz geworden (venös), das andere ist scharlachrot (arteriell).

Spektrum des arteriellen und venösen Blutes. Ein Spektroskop ist ein Apparat, der gemischtes Licht mittels eines Prismas in Strahlen verschiedener Wellenlänge zerlegt. Die Strahlen einer Lichtquelle (Sonne, Flamme) fallen durch einen Spalt, dessen Weite je nach der Intensität der Lichtquelle reguliert werden kann, auf eine Konvexlinse, die sie parallel bis zu einem Prisma weitersendet. Das Prisma zerlegt die Strahlen in ihre Bestandteile von verschiedener Wellenlänge (Farbe) und erzeugt auf diese Weise ein Spektrum, das man mittels eines astronomischen Fernrohrs vergrößert beobachten kann. Um die genaue Lage der einzelnen Bestandteile des Spektrums ein für allemal zu kennzeichnen, kann man von einer zweiten Lichtquelle aus eine Skala auf das Spektrum projizieren (Fig. 42 *S. k.*). Bringt man zwischen Lichtquelle und Spalt eine gefärbte Lösung, so entstehen auf dem Spektrum bestimmte Absorptionsstreifen, indem von dieser Lösung Strahlen bestimmter Wellenlänge nicht hindurch gelassen, sondern absorbiert werden (Absorptionsspektrum). Benutzt man statt der Lichtquelle eine nicht leuchtende Flamme (Bunsenflamme) und glüht man in derselben bestimmte chemische Stoffe, so erhält man statt eines Gesamtspektrums nur das Spektrum der Strahlenarten,

die von dem glühenden Körper ausgehen (Flammenspektrum). Das Spektrum des Sonnenlichts zeigt eine große Menge von feineren und dickeren, aber stets konstanten dunklen Linien, die FRAUNHOFERschen Linien *A, B, C, D, E, F* usw., nach denen man die Lage von Absorptions- und Flammenstreifen im Spektrum zu bestimmen pflegt.

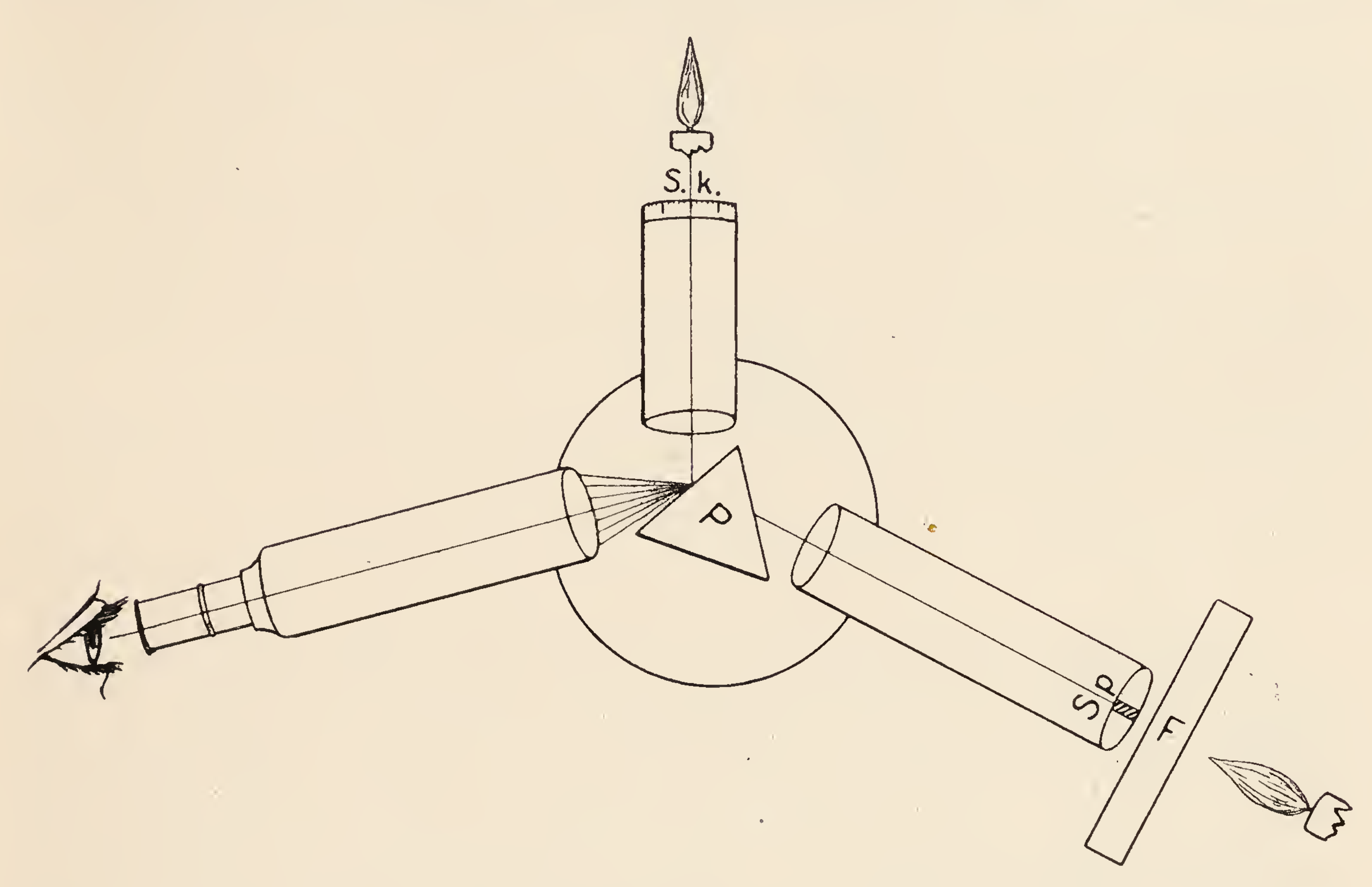


Fig. 42. Spektroskop. *P* Prisma, *Sp* Spaltöffnung, *F* Flüssigkeitsbehälter, *S. k.* Skala.

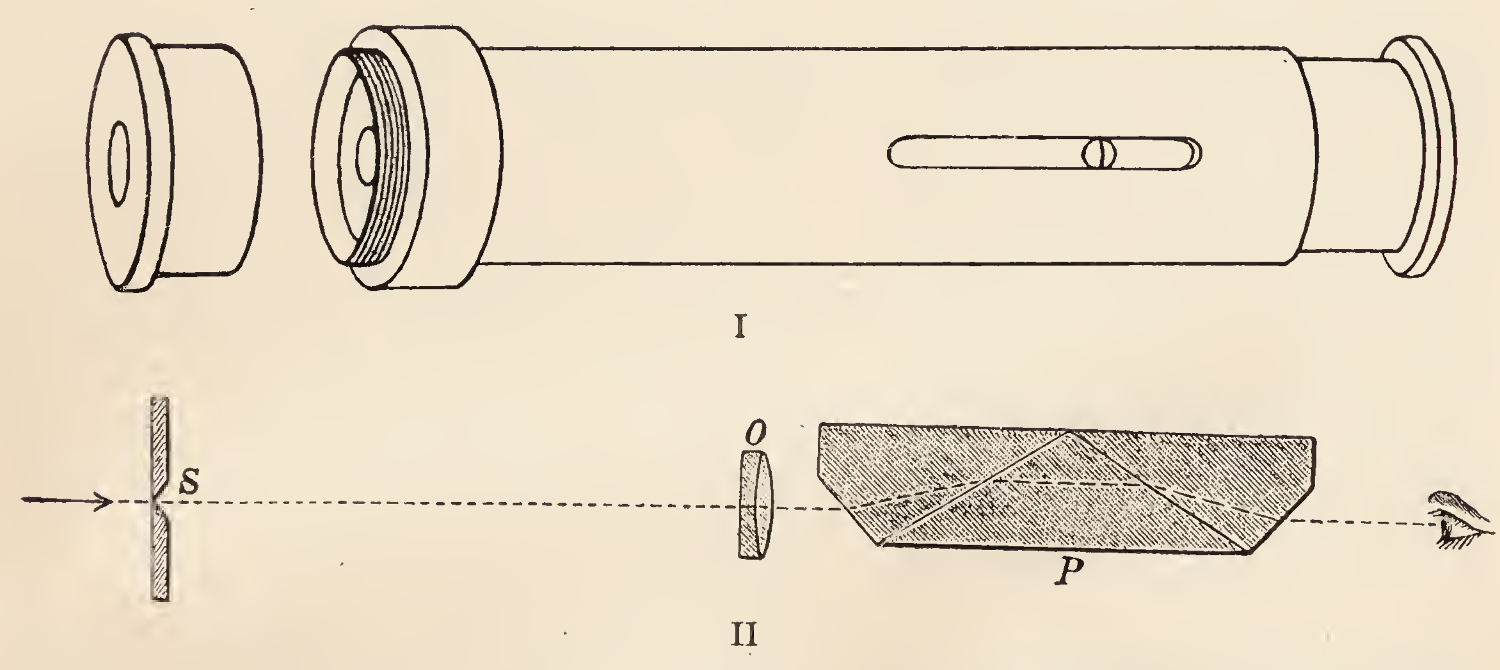


Fig. 43. Taschenspektroskop. I äußere Form. II Strahlengang: *S* Spaltöffnung, *O* Okular, *P* Prisma. Nat. Größe.

Das Oxyhämoglobin hat zwei, das reduzierte Hämoglobin nur einen einzigen Absorptionsstreifen zwischen den FRAUNHOFERschen Linien *D* und *E*. Die Form und Konstruktion der Spektroskope ist außerordentlich mannigfaltig. Sehr praktisch und sehr lichtstark sind die kleinen Taschenspektroskope von der beistehenden Form (Fig. 43).

Man hat auch Spektroskope der letzteren Form konstruiert, die es gestatten, von zwei verschiedenen Seiten her zwei Spektra zum Vergleich übereinander zu projizieren und mit dem gleichen Fernrohr zu beobachten. Solche Spektroskope sind für die spektroskopische Vergleichung der verschiedenen Blutarten besonders zweckmäßig.

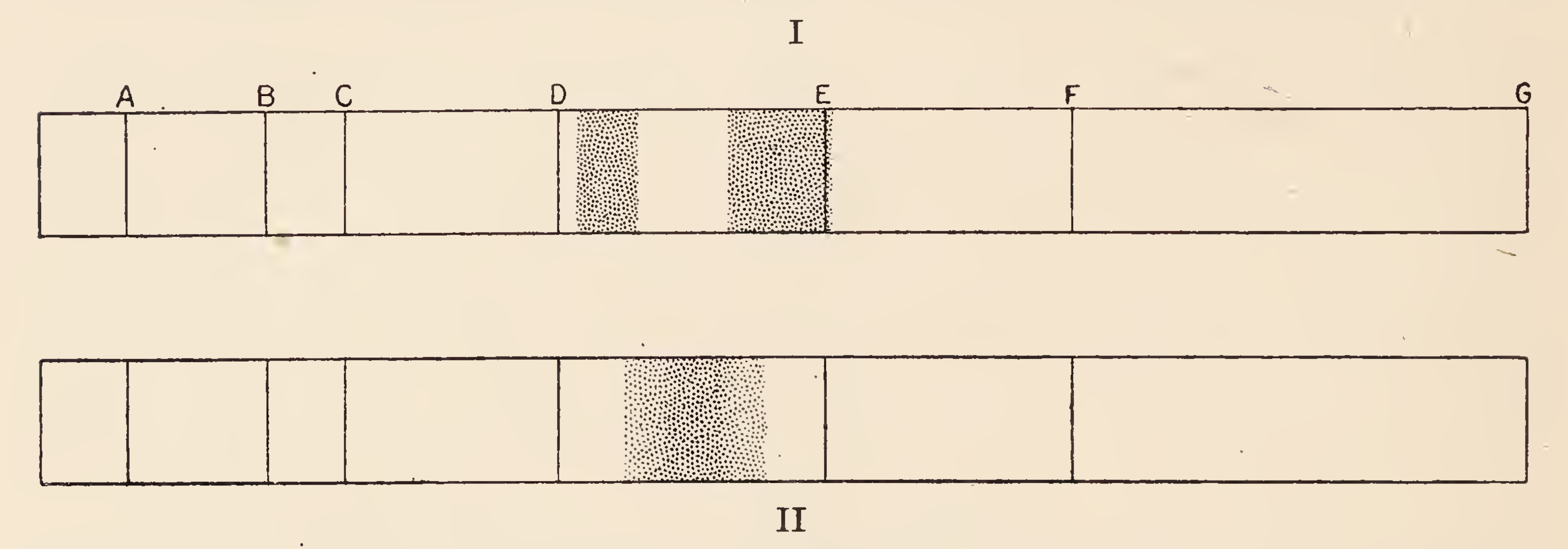


Fig. 44. Blutspektra. I Oxyhämoglobinspektrum. II Spektrum des reduzierten Hämoglobins

Ein Spektroskop der letzteren Art wird benutzt und sein Spalt so eingestellt, daß die Spektra genügende Helligkeit besitzen. Darauf wird in einem Reagenzglas Rinderblut mit Wasser so stark verdünnt, daß es ganz hell und durchsichtig erscheint und, vor den Spalt des Spektroskops gehalten, im hellen Spektrum deutlich seine beiden Absorptionsstreifen erkennen läßt (Fig. 44 I). Von diesem Blut wird die eine Hälfte in ein breites, hohes Glasgefäß gefüllt, dessen parallele Wandflächen nur etwa 1 cm weit voneinander entfernt sind (Fig. 45). Die andere Hälfte wird mit einigen Tropfen Schwefelammonium geschüttelt und in ein zweites Glasgefäß derselben Art und Größe gebracht. Beide Standgefäße werden nebeneinander dicht vor das Spektroskop gesetzt, so daß die Spektra beider Flüssigkeiten im Spektroskop übereinander gelagert erscheinen. Man wartet eine Weile, bis das verdünnte Blut im zweiten Standgefäß gut reduziert ist, und beobachtet beide Spektra durch das Spektroskop. Hat man die Verdünnung richtig gewählt, so erscheint beim Spektrum des Oxyhämoglobinblutes im Grün ein doppeltes durch einen hellen Streifen getrenntes (Fig. 44 I), im Spektrum des venösen Blutes an der gleichen Stelle, ein wenig nach Rot hin verschoben ein breites

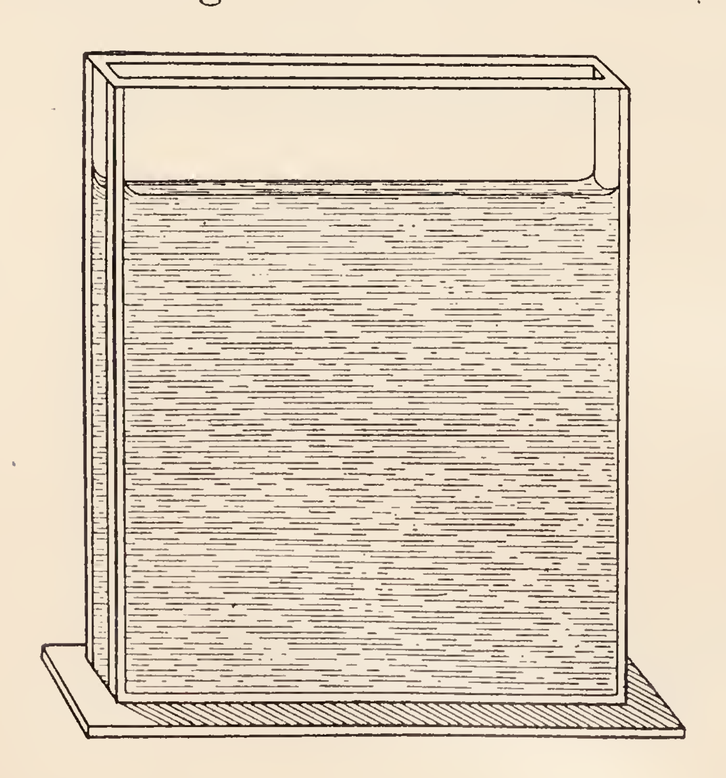


Fig. 45. Glasgefäße für die spektroskopische Blutuntersuchung.

einfaches Absorptionsband (Fig. 44 II). Ist die Verdünnung noch zu gering, so fügt man beiden Proben die gleiche Menge Wasser zu, rührt um und wartet, ist sie zu stark, so setzt man beiden Lösungen die gleiche Quantität Blut hinzu, bis man die typischen Spektra erhält.

Hämoglobinkristalle vom Meerschweinchen. Man tötet ein Meerschweinchen. Indem man sich von jemandem das Tier so halten läßt, daß der Kopf stark nach hinten gebeugt ist, schneidet man mit einem schnellen umfangreichen Scherenschnitt den Hals durch. Das aus den Carotiden fließende Blut wird in einer untergehaltenen Porzellanschale aufgefangen und sofort mit einem Holzstäbchen geschlagen. Dabei scheidet sich das Fibrin am Stäbchen in Form eines faserigen Klumpens ab. Darauf setzt man unter fortwährendem Schlagen nach und nach etwa 5—10 ccm Äther dazu, bis die Flüssigkeit eine dunkle Farbe annimmt und lackfarbig wird. Nunmehr bringt man auf einen Objektträger einen reichlichen Tropfen in Äther gelösten Canadabalsams und setzt mit dem Glasstabe von dem lackfarbig gemachten Blut eine Kleinigkeit hinzu, indem man Canadabalsam und Blut nur leicht miteinander vermischt. Das Ganze wird möglichst schnell mit einem Deckglase bedeckt und etwa 6—10 Minuten stehen gelassen. Betrachtet man es dann unter dem Mikroskop, so findet man das Präparat erfüllt mit zahlreichen schön rubinroten Tetraëdern des rhombischen Systems, die bisweilen auch abgestumpfte Ecken haben können (Fig. 46). Das Präparat ist kein Dauerpräparat. Die Kristalle zersetzen sich nach kurzer Zeit wieder.



Fig. 46. Hämoglobinkristalle vom Meerschweinchen.

Hämoglobinkristalle von der Ratte. Eine weiße Ratte wird in derselben Weise getötet wie das Meerschweinchen (siehe oben) und das ausfließende Blut wird durch Schlagen defibriniert. Darauf werden unter andauerndem Schlagen nach und nach etwa 5—10 ccm Chloroform zugesetzt, bis die Masse einen dicken Brei bildet. Von diesem Brei wird eine Probe auf einen Objektträger gebracht, mit einem Deckglas bedeckt und unter dem Mikroskop betrachtet. Das Gesichtsfeld zeigt sich erfüllt von Massen gelblicher Kristalle, die teils in Form von rhombischen Säulen oder Nadeln, teils in Form von sechseckigen Platten erscheinen.

Häminkristalle (Teichmannsche Blutprobe). Ein sehr kleines Tröpfchen Rinderblut (ca. 2—3 mm Durchmesser) wird auf einen

Objektträger gebracht und zwar nicht in die Mitte, sondern mehr nach dem einen Ende hin. Dazu wird ein winziges Körnchen NaCl gesetzt so groß, daß es eben gerade sichtbar ist, und mit dem Glasstabe gut zerquetscht. Dann fügt man mit einem Glasstabe mehrere Tropfen Eisessig hinzu und verreibt sie mit der Blutspur sorgfältig, so daß eine bräunliche, durchsichtige Flüssigkeit entsteht. Diese wird mit einem Deckglas bedeckt und, indem man den Objektträger am anderen Ende hält, über einer Bunsenflamme bis zum Auftreten von Blasen unter dem Deckglas erwärmt. Dabei ist darauf zu achten, daß die Erwärmung nicht zu langsam und nicht zu plötzlich geschieht, damit nicht die Flüssigkeit unter dem Deckglas einfach eintrocknet. Hat das Gemisch eben aufgekocht, so betrachtet man das Resultat unter dem Mikroskop und findet das Gesichtsfeld erfüllt mit unzähligen kleinen dunkelbraunen Häminkristallen (Fig. 47). Es sei nochmals betont, daß man zur Probe nur sehr wenig Blut, ein winziges, eben sichtbares Körnchen Kochsalz, dagegen mehrere Tropfen Eisessig benutzen soll, sonst erhält man nicht das gewünschte Resultat. Die Probe kann auch mit einer kleinen Spur eingetrockneten und pulverisierten Blutes gemacht werden.



Fig. 47. Häminkristalle.

Kohlenoxydvergiftung bei der Ratte. Zu dem Versuch werden zwei weiße Ratten von annähernd gleicher Größe benutzt. Jede derselben wird mit einer Tiegelzange am Schwanz oder an der Rückenhaut gefaßt und unter je eine Glasglocke gesetzt. Unter die eine Glasglocke bringt man einen großen, mit Chloroform getränkten Wattebausch, unter die andere leitet man das offene Ende eines Gummischlauches von der Gasleitung und läßt Leuchtgas hinzuströmen, das immer genügend CO enthält. Man beobachtet die Entwicklung des Todes bei beiden Ratten. Die Chloroform-Ratte wird allmählich gelähmt, fällt auf die Seite und stirbt schließlich, indem Atmung und Zirkulation ohne Erregungssymptome still stehen. Die Kohlenoxyd-Ratte dagegen zeigt sehr bald heftige Unruhe, ihre Bewegungen werden hastig, es entwickelt sich ein heftiges, wenn auch kurzes Erregungsstadium, das in Erstickungskrämpfen des ganzen Körpers (Tenner-Kussmaulsche Krämpfe) zum Ausdruck kommt und bleibt schließlich tot auf der Seite liegen. Man wartet noch einige Minuten, bis die chloroformierte Ratte auch sicher tot ist und nimmt dann beide Ratten heraus, um sie durch einen langen Schnitt mit der Schere auf der Bauchseite, der von der Symphyse an bis zum Unterkieferwinkel reicht, zu öffnen, so daß die Organe der Bauchhöhle

sowohl wie der Brusthöhle frei liegen. Ein Vergleich beider Ratten zeigt den charakteristischen Unterschied in der Farbe der Organe. Bei der Chloroform-Ratte sind die Organe der Körperhöhlen dunkelblaurot (venös) gefärbt, weil nach dem Stillstand der Atmung und Zirkulation das Hämoglobin durch die Sauerstoffzehrung der Gewebezellen reduziert ist. Das Blut ist aus diesem Grunde bei den verschiedensten Todesarten immer venös. Bei der Kohlenoxyd-Ratte dagegen ist die Farbe der Organe hellkirschrot, weil das Kohlenoxyd-Hämoglobin nicht reduziert werden kann. Der Unterschied ist sehr deutlich, kann sich aber bei längerem Liegen der Tiere an der Luft wieder etwas verwischen, da das reduzierte Blut aus der Luft wieder etwas Sauerstoff aufnehmen kann und dann die mehr hellrote Farbe des Oxyhämoglobinblutes gewinnt, die der Farbe des Kohlenoxyd-Hämoglobinblutes sehr ähnlich ist.

Nachweis der Kohlenoxydvergiftung durch die Natronprobe. Eine Quantität defibrinierten Ochsenblutes (ca. 20—50 ccm) wird in einem hohen Glaszylinder unter dem Abzug oder am offenen Fenster $^1/_2$ Stunde lang mit Leuchtgas durchströmt. Von diesem Blut bringt man in ein Reagenzglas A 5 ccm. In ein zweites Reagenzglas B bringt man 5 ccm gewöhnlichen defibrinierten Ochsenblutes. Beide Proben werden mit 5 ccm 10 proz. NaHO versetzt und gut umgeschüttelt. Darauf werden beide Proben über der Bunsenflamme unter gutem Umschütteln vorsichtig erwärmt, aber nicht bis zum Siedepunkt. Dabei verändert sich die Farbe in beiden Blutarten, indem sie allmählich etwas dunkler wird. Sehr bald aber stellt sich ein wesentlicher Unterschied ein: Die Farbe des gewöhnlichen Oxyhämoglobinblutes wird schmutzig olivengrün, die des Kohlenoxydblutes bleibt kirschrot. Man sieht die Farbenunterschiede am besten, wenn man von beiden Blutarten Proben auf einer Porzellanplatte ausbreitet und auseinanderwischt.

Prüfung des Hämoglobingehaltes beim Menschen mit der Tallquistschen Hämoglobinskala. Die TALLQUISTsche Hämoglobinskala, wie sie nebst zugehörigen Fließpapierblättchen in Buchform im Buchhandel zu haben ist, stellt eine Reihe von 10 roten Farbstreifen vor, deren Farbennuancen 10 verschiedenen Verdünnungsgraden des Hämoglobingehaltes im menschlichen Blute entspricht, beginnend mit dem als 100 bezeichneten normalen Hämoglobingehalt und fortschreitend zu 90, 80 usw. bis 10. Jeder Streifen trägt in der Mitte einen kleinen, kreisförmigen Ausschnitt. Man trennt nun eines der beigehefteten Fließpapierblättchen ab, und nachdem man in der oben p. 77 angegebenen Weise einen Tropfen Blut aus einer Finger-

beere gewonnen hat, läßt man den letzteren langsam vom Fließpapier aufsaugen, so daß ein gleichmäßig rot gefärbter Blutfleck auf dem Fließpapier entsteht. Ehe das Blut auf dem Fließpapier eingetrocknet ist und seine Farbe verändert hat, also gleich nachdem es seinen feuchten Glanz verloren hat, bringt man das Fließpapier mit dem Fleck unter die runden Ausschnitte der Farbstreifenskala und prüft bei Tageslicht durch Vergleich, welcher von den Streifen der Skala seinem Farbenton am meisten entspricht. Beim normalen Blut wird es der Skalenteil 90—100 sein. Entspricht der Farbenton einem helleren Skalenstreifen, so ist der Hämoglobingehalt des Blutes in geringerem oder höherem Grade vermindert. Die TALLQUISTsche Hämoglobinskala hat vor den früher gebräuchlichen „Hämometern", die auf einer Vergleichung der Blutfarbe mit einem rubinrot gefärbten, keilförmigen, graduierten Glasstück beruhten, den Vorzug, daß sie sehr bequem zu handhaben, sehr einfach und billig und in ihren Farbentönen der Blutfarbe sehr nahestehend ist.

3. Die Blutgerinnung.

Theoretische Vorbemerkungen. Die Gerinnung des Blutplasmas beruht auf dem Übergang eines gelösten Eiweißkörpers, des Fibrinogens, in einen festen, in Wasser unlöslichen Eiweißkörper, das Fibrin. Dieser Prozeß hängt von verschiedenen Faktoren ab. Er ist z. B. bedingt durch die Anwesenheit der Leukozyten und durch den Kalkgehalt des Blutes. Verzögert man die Blutgerinnung des frisch entnommenen Blutes durch Kälte bei einem Tier, dessen Blutzellen sich schnell zu Boden senken (Pferd), so setzen sich zuerst die roten, dann die weißen Blutzellen (Speckhaut) ab, und man kann das zellfreie, klare, hellgelbliche Plasma oben mit einer Pipette abnehmen. Dieses zellfreie Blutplasma gerinnt auch bei gewöhnlicher Temperatur nicht von selbst, sondern erst bei Zusatz von Leukozyten der abgesetzten Speckhaut. Fällt man andererseits die Kalksalze des abgekühlten Blutes durch Zusatz von Oxalsäure aus, so gerinnt das Blut ebenfalls nicht bei gewöhnlicher Temperatur, trotz der Anwesenheit der Leukozyten. Man stellt sich daher vor, daß beim Zerfall der Leukozyten Stoffe entstehen, die einen gelösten Eiweißkörper des Blutplasmas (Fibrinogen) spalten, und daß ein Spaltungsprodukt desselben (Thrombosin) bei Zusammentritt mit Kalksalzen eine unlösliche Verbindung, das Fibrin (Thrombosinkalk) bildet, welche ausfällt. Die Blutgerinnung kann verhindert werden außer durch Kälte und Entziehung der Leukozyten oder der Kalksalze auch durch Zusatz von konzentrierten Salzlösungen, Alkalien, Peptonen oder Blutegelextrakt. Beschleunigt wird die Blutgerinnung durch Wärme, Zufügung von Kalksalzen und Berührung mit rauhen Oberflächen (Schlagen des Blutes mit einem rauhen Holzstäbchen, wobei sich das Fibrin in langen Fasern am Stabe ausscheidet, vgl. p. 37).

Fängt man Blut direkt aus dem Körper auf und läßt es in einem Becherglase stehen, so gerinnt die ganze Blutmasse zu dem gallertigen Blutkuchen in der Form des Becherglases. Indem sich der Blutkuchen bei längerem, ungestörtem Stehen allmählich etwas zusammenzieht,

hebt er sich oben mehr und mehr vom Becherglase ab und preßt das hellgelbe, klare Blutserum aus. Die im Blutkuchen eingeschlossenen zellulären Elemente zeigen, indem sie allmählich zugrunde gehen, noch eine gewisse Sauerstoffzehrung, infolgedessen hat das Innere des Blutkuchens die Farbe des reduzierten (venösen) Blutes.

Die Gerinnung von Pferdeblut im Becherglase. In einer Roßschlächterei wird 1 Liter Blut aus dem Körper eines eben getöteten Tieres in einem Becherglase möglichst ohne Schaum aufgefangen, auf Eis abgekühlt und erst transportiert, nachdem es vollständig geronnen ist. Man kann auch einem lebenden Versuchspferde, ohne es zu schädigen, aus einem größeren Halsgefäß einen Liter Blut abzapfen, wenn man darauf das Blutgefäß wieder sorgfältig unterbindet. Hat sich der Blutkuchen (Fig. 48) nach der Gerinnung zusammengezogen und eine größere Quantität klaren Serums ausgepreßt, so wird das letztere mit einer Kugelpipette sehr vorsichtig abpipettiert, so daß die Spitze der Pipette niemals die Oberfläche des Blutkuchens selbst berührt, da sonst viele rote Blutzellen mit in das Serum hineingesaugt werden. So gewinnt man ein hellgelbliches, klares Blutserum. Der zurückbleibende Blutkuchen läßt schön und deutlich an seiner oberen Fläche die mehrere Millimeter dicke, weißliche Speckhaut erkennen. Nunmehr wird der Blutkuchen aus dem Becherglase durch Umstülpen herausgenommen und in einer flachen Schale längere Zeit an der Luft aufbewahrt. Nach Verlauf einiger Stunden bis einiger Tage (auf Eis halten!) schneidet man den Blutkuchen mit einem Messer quer durch und überzeugt sich, daß die äußere der Luft ausgesetzte Schicht die hellrote Farbe des arteriellen, die ganze innere Masse die schwarzrote des venösen Blutes zeigt.

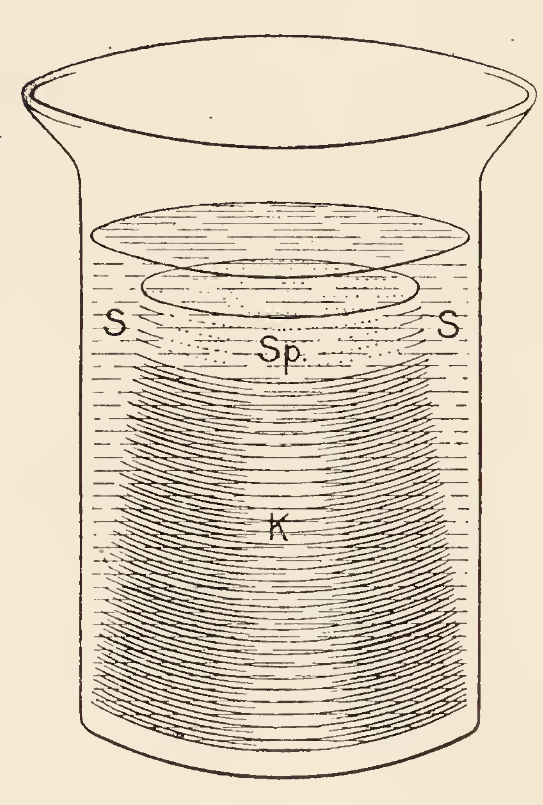


Fig. 48. Blutgerinnung von Pferdeblut. *K* Blutkuchen, *Sp* Speckhaut, *S* Blutserum.

Wo kein Pferdeblut zur Verfügung steht, wird derselbe Versuch mit Hammelblut angestellt

4. Das Blutserum.

Theoretische Vorbemerkungen. Das Blutserum repräsentiert die Gesamtheit der Stoffe des Blutplasmas nach Ausscheidung des Fibrins und ist im wesentlichen eine Eiweißlösung, die geringe Mengen anderer Stoffe enthält. Die folgende Übersicht gibt ein oberflächliches Bild von den Bestandteilen des Blutserums.

Eiweißkörper (Serumalbumin, Serumglobulin),
Kohlehydrate (Traubenzucker),
Fette (in Spuren nach fettreicher Nahrung),
Lecithin,
Cholestearin,
Milchsäure,
Harnstoff,
Harnsäure,
Kreatin,
anorganische Salze (Ca-, Na-, K- und Mg-Salze),
Blutgase (O_2 und CO_2),
Antitoxine, globulizide und bakterizide Stoffe usw.

Eiweißproben mit Blutserum. 10 ccm klaren Blutserums (von der oben abpipettierten Masse) werden im Maßzylinder bis auf 100 ccm mit destilliertem Wasser verdünnt. Darauf werden mit dieser verdünnten Serumlösung folgende Eiweißproben angestellt:

1. Kochprobe mit Essigsäurezusatz (siehe p. 7).
2. HELLERsche Ringprobe (siehe p. 3).
3. MILLONsche Probe (siehe p. 5).
4. Biuretprobe (siehe p. 4).

Trennung der Globuline von den Albuminen. 20 ccm Blutserum werden bis auf 100 ccm mit destilliertem Wasser verdünnt und in einer Dialyseflasche dialysiert (siehe p. 6).

Ausfällung der Globuline durch CO_2. 20 ccm Blutserum werden bis auf 100 ccm mit destilliertem Wasser verdünnt und in

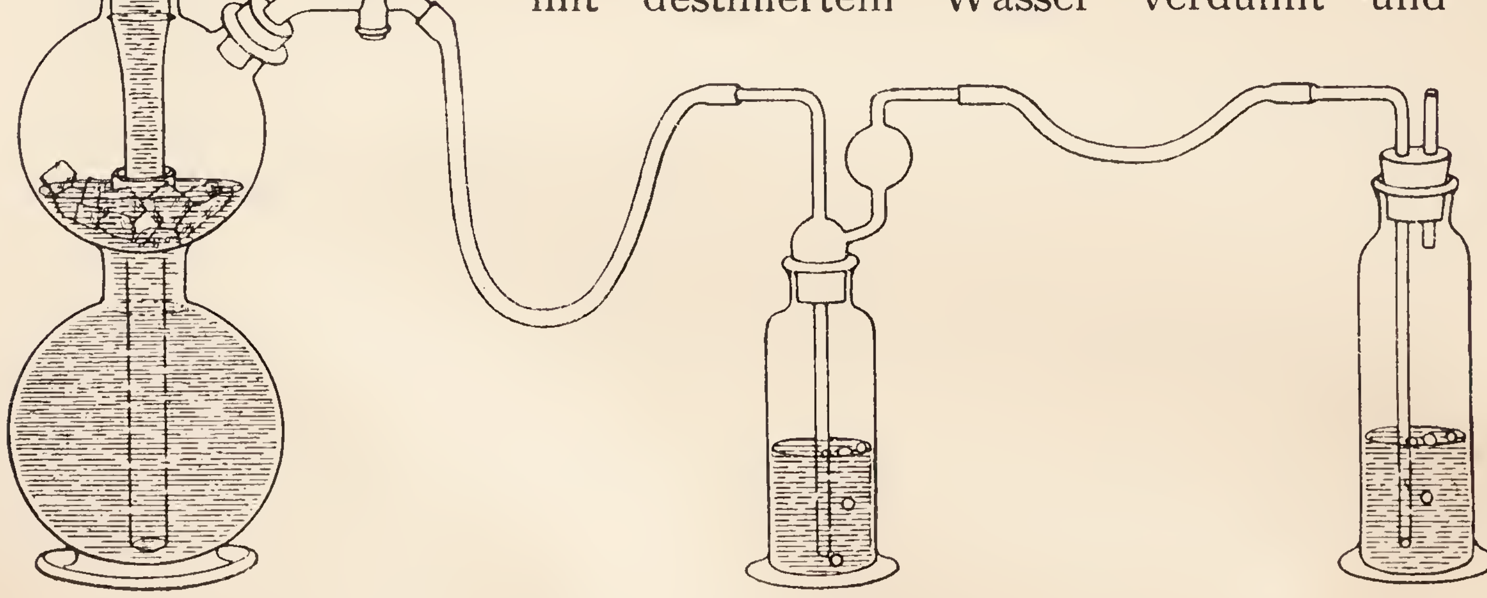


Fig. 49. Ausfällung der Globuline aus Blutserum durch Kohlensäure. *A* KIPPscher Apparat, *B* Waschflasche mit Wasser, *C* Waschflasche mit verdünntem Blutserum.

einem Glaszylinder mit einem CO_2-Strom durchströmt, der in einem KIPPschen Apparat aus Marmor und Salzsäure entwickelt und in einer Waschflasche mit Wasser ausgewaschen ist (Fig. 49). Die CO_2

fällt die Globuline aus. Nach ca. 20—30 Minuten langer Durchströmung beginnt die Trübung der klaren Serumlösung.

B. Zirkulation des Blutes.

Wenn das Blut die Aufgabe hat, den Zellen der verschiedenen Organe die Nahrung zuzuführen und andererseits ihre Stoffwechselprodukte abzuführen, so muß es alle Organe des Körpers durchströmen. Das geschieht auf den Wegen des Blutgefäßsystems und wird bewirkt durch die Druck- und Saugwirkung des Herzens. Das Blutgefäßsystem bildet ein geschlossenes Röhrensystem mit elastischen Wänden, in welches das Herz als Druck- und Saugpumpe eingeschaltet ist. Da die Klappen des Herzens Ventile vorstellen, die sich nur nach einer bestimmten Richtung öffnen, so kann das Blut, das durch die Kontraktionen des Herzens einerseits in das Gefäßsystem hineingepreßt und das durch die Saugwirkung des Herzens andererseits wieder aus dem Gefäßsystem nach dem Herzen zu angesaugt wird, infolge des Druckgefälles von den großen Arterien bis zu den großen Venenstämmen, d. h. von den Ventrikeln durch die Gefäße bis zu den Vorhöfen, nur in einer Richtung strömen. Die Strömungsgeschwindigkeit ist am größten in den großen Gefäßstämmen, nahe beim Herzen, sie ist am geringsten in den Kapillaren, denn je weiter sich die Gefäßstämme vom Herzen entfernen, um so mehr verästeln sie sich, so daß ihr Gesamtquerschnitt immer größer wird und in den Kapillaren schließlich etwa das 700fache des Querschnittes der großen Gefäßstämme erreicht. Da in der Zeiteinheit dieselbe Blutmenge durch den kleinen Querschnitt der großen Gefäßstämme wie durch den großen Gesamtquerschnitt aller Kapillaren hindurchströmt, so muß die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes da, wo es auf einen großen Querschnitt verteilt ist, beträchtlich langsamer sein und kann daher in den Kapillaren mit dem Auge unter dem Mikroskop verfolgt werden.

Der Weg des Blutes im Körper ist folgender: Das Blut, das sich aus dem Körper zum Herzen sammelt, tritt durch die großen Hohlvenen (Vena cava sup. und inf.) in die rechte Vorkammer ein, gelangt von hier durch die Valvula tricuspidalis in den rechten Ventrikel und von da durch die Lungenarterie in die Lunge, wo es den Lungenkapillarkreislauf passiert, um sich wieder zur Lungenvene zu sammeln, durch die es in die linke Vorkammer zurückkehrt. Von der linken Vorkammer tritt das Blut durch die Valvula bicuspidalis (mitralis) in den linken Ventrikel, der es in die Aorta hineinpreßt. Von hier aus durchläuft es den Körperkreislauf, indem es durch die Arterien zu sämtlichen Organen des Körpers hinströmt, um sich dort durch das Körperkapillarnetz zu ergießen und sich schließlich wieder in den größeren Venenstämmen zu sammeln, die in die Hohlvenen einmünden. Auf diesem Wege ist eine wichtige Komplikation des Kreislaufs vorhanden. Das Blut, das die Eingeweide durchströmt hat und sich aus den Eingeweidekapillaren wieder sammelt, passiert noch ein zweites Kapillarnetz und zwar in der Leber. Es sammelt sich aus den Eingeweiden zur Vena portarum und tritt durch diese in die Leber ein. Gleichzeitig hat daneben die Leber, wie alle Organe, noch ihre eigene Leberarterie. Aus dem Blute der Vena portarum nimmt die Leber gewisse Zersetzungsprodukte des Körpers (z. B. Ammoniak, aromatische Produkte der Darmfäulnis usw.) auf und verarbeitet sie synthetisch zu

relativ unschädlichen Formen (Harnstoff, Harnsäure, gepaarten Schwefelsäuren usw.), die dann die Leber wieder verlassen und von den Nieren ausgeschieden werden. Die Leberarterie dient zur Ernährung der Leberzellen selbst. Das Blut verläßt schließlich die Leber wieder durch die Lebervene, die in die untere Hohlvene mündet.

Dadurch, daß das Blut mit einer bestimmten Kraft vom Herzen in das Gefäßsystem hineingepreßt wird, entsteht in den vom Herzen fortführenden Gefäßen ein bestimmter Druck, der arterielle Blutdruck, der natürlich bei jeder Kontraktion des Ventrikels (Systole) eine Steigerung, bei jeder Diastole durch andauerndes Abströmen des Blutes aus dem Arteriensystem ins Venensystem wieder ein Absinken erfährt. Das sind die Pulsschwankungen des Blutdruckes, die man an den Arterien bemerkt. Da das Blut aber wegen der starken Widerstände, die das Kapillarsystem durch seine winkeligen Verzweigungen bietet, nicht so schnell aus dem Arteriensystem in das Venensystem abströmen kann, wie es durch die rhythmisch folgenden Systolen in das Arteriensystem hineingepreßt wird, so wird ein Teil der Triebkraft des Herzens in elastische Spannkraft der Arterienwände umgesetzt, die nun auch zwischen zwei Systolen noch auf das Blut einwirkt. Bis zu den Kapillaren hin ist fast alle Triebkraft in Wandspannung umgewandelt und infolgedessen sind in den Kapillaren die Pulsschwankungen des Blutdruckes meist kaum noch vorhanden. Aber infolge der andauernden elastischen Einwirkung der gedehnten Gefäßwände auf das Blut bleibt im Arteriensystem auch zwischen zwei Systolen andauernd ein Druck von bestimmter Höhe bestehen, der in den großen und mittleren Arterien größer ist als in den kleinen, weil auf dem Wege vom Herzen bis zu den Kapillaren ein Teil der Triebkraft zur Überwindung der Reibungswiderstände verbraucht wird. Infolge der andauernd gleichen Druckwirkung, die aus dem Erlöschen der Pulsschwankungen in den Kapillaren resultiert, erfährt auch die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes in den Kapillaren keine dem Puls entsprechenden rhythmischen Beschleunigungen und Verlangsamungen mehr, sondern das Blut strömt von den Kapillaren an im Gegensatz zu den Arterien mit gleichmäßiger Geschwindigkeit.

1. Das Herz und seine Innervation.

Theoretische Vorbemerkungen. Das Herz stellt ein aus quergestreifter Muskulatur bestehendes Organ vor, das ein System von Hohlräumen, die Vorkammern (Atrien) und die Kammern (Ventrikel) einschließt und rhythmische Kontraktionen ausführt in der Weise, daß alternierend die Ventrikel und die Atrien sich kontrahieren (Systole) und erschlaffen (Diastole). Bei der Systole der Ventrikel werden zunächst die Atrioventrikularklappen (Segelklappen) geschlossen und es verläuft ein kurzer Moment im Beginn der Ventrikelkontraktion, während dessen noch kein Blut aus dem Herzen in die Aorta eintritt, weil der Blutdruck in den großen Arterien noch höher ist als in den Ventrikeln („Anspannungszeit“). Erst wenn mit fortschreitender Ventrikelkontraktion der Druck im Ventrikel die Höhe des Aortenblutdruckes überschritten hat, öffnen sich die Semilunarklappen und das Blut wird durch die Systole des Ventrikels in die Aorta hineingepreßt („Austreibungszeit“). Währenddessen gehen die Atrien in Diastole über und füllen sich mit dem von den großen

Venenstämmen her einströmenden Blut. An die Systole der Ventrikel schließt sich die Diastole der Ventrikel und mit Zwischenschaltung einer kleinen Pause zugleich die Systole der Atrien an. Die Systole der Atrien beginnt also eine kurze Zeit später als die Diastole der Ventrikel und es ergibt sich, daß während dieser kurzen Zeit bereits ein negativer Druck in den Ventrikeln entsteht. Es kann also die Füllung der Ventrikel in der Diastole nicht auf ein Hineinpressen des Blutes in die Ventrikel durch die Systole der Atrien bezogen werden, sondern der Ventrikel übt in der Diastole eine wahrscheinlich auf Elastizität beruhende Saugwirkung aus und füllt sich so unter Öffnung der Atrioventrikularklappen von den Atrien her. Die Atrien stellen nichts weiter vor als Reservoire, aus denen die Ventrikel schöpfen und die sich auch während der Systole der Atrien nie ganz entleeren. Im Moment, wo bei der Entwicklung der Ventrikeldiastole der Druck im Ventrikel kleiner wird als der Aortendruck, schließen sich die Semilunarklappen infolge des stärkeren Gegendruckes des Blutes von der Aorta her, so daß kein Blut aus dem Arteriensystem in den Ventrikel zurückströmen kann, und es beginnt die „Anfüllungszeit" des Ventrikels.

Über den Ursprungsort der Impulse für die Herzkontraktionen stehen zur Zeit noch zwei Ansichten einander gegenüber. Die eine sieht denselben in den nervösen Elementen (REMAKscher und BIDDERscher Ganglienzellhaufen), die sich im Herzen finden („neurogene" Theorie der Herzbewegung), die andere direkt in der Muskelsubstanz des Herzens selbst („myogene" Theorie). Nachdem längere Zeit die letztere die vorherrschende Theorie gewesen war, neigt sich heute die Wageschale wieder mehr zugunsten der neurogenen Theorie. Auf jeden Fall gehen die Impulse von den oberen Teilen des Herzens aus und werden nicht etwa von nervösen Elementen außerhalb des Herzens erzeugt. Das wird dadurch bewiesen, daß auch das herausgeschnittene, vom Körper isolierte Herz noch weiter zu schlagen vermag. Künstliche Reize (mechanische, elektrische) vermögen das Herz auch zwischen zwei normalen Systolen zu einer „Extrasystole" zu veranlassen, indessen ist das Herz unmittelbar nach Beginn einer jeden Systole für ein kurzes Stadium unerregbar, „refraktär" („Refraktärstadium") und nach einer zwischen zwei normale Systolen eingeschalteten Extrasystole ist die Zeit der Ruhe verlängert, indem die nächste normale Systole ausfällt, weil der von den oberen Herzteilen kommende normale Impuls in das Refraktärstadium der Extrasystole trifft („kompensatorische Pause"). Beim herausgeschnittenen Herzen wird wegen der mangelhaften Sauerstoffernährung das Refraktärstadium allmählich immer mehr in die Länge gezogen, die Pausen zwischen zwei Systolen werden immer ausgedehnter, bis schließlich das Herz ganz still steht. Die Zahl der Schläge des Herzens ist von der Temperatur abhängig. Sie ist besonders beim Kaltblüter größer bei höherer, geringer bei niedrigerer Temperatur, beim Menschen beträgt sie durchschnittlich 72 in der Minute. Die Höhe der systolischen Zuckungen ist stets maximal.

Die Frequenz der Herztätigkeit ist der eine wichtige Faktor im Zirkulationssystem für die Regulierung des Blutdruckes. (Der andere wichtige Faktor im Zirkulationsapparat liegt in dem Wandspannungszustande der Blutgefäße) (siehe unten). Schlägt das Herz schneller, so wird mehr Blut in der Zeiteinheit in das Arteriensystem gepreßt, und da das Blut nicht so schnell durch die Kapillaren nach den

Venen hin abströmen kann, muß der Blutdruck infolge der stärkeren Stauung steigen. Schlägt das Herz langsamer, so wird weniger Blut in der Zeiteinheit in das Arteriensystem getrieben und der Blutdruck sinkt.

Für die Regulierung der Herztätigkeit und damit des Blutdruckes dienen zwei Nervengebiete, die zum Herzen treten, der Vagus und der Sympathicus. Der Nervus vagus, dessen Zentrum in der Medulla oblongata liegt, ist der Hemmungsnerv des Herzens. Erregung des Vaguszentrums entweder direkt durch Sauerstoffmangel bei Erstickung oder indirekt auf dem Wege zentripetaler Nervenfasern (z. B. des Depressor, der vom Herzen und der Aortenwand herkommt, der sensiblen Trigeminusfasern der Nase, sensibler Eingeweidenerven usw.) bewirkt Verlangsamung der Herztätigkeit und damit Sinken des Blutdruckes. Ebenso bewirkt nach Durchschneidung eines Vagus künstliche Reizung des peripherischen Stumpfes bei schwachem Reiz Verlangsamung des Herzschlages, bei starkem Reiz völligen Stillstand des Herzens in Diastole unter entsprechendem Absinken des Blutdruckes. Reizt man den peripherischen Stumpf des durchschnittenen Vagus lange mit starkem Reiz, so brechen nach einiger Zeit des Herzstillstandes einzelne Systolen wieder durch, infolge der Ermüdung der Vagusenden im Herzen. Atropin lähmt die Vagusenden im Herzen so, daß auch die stärkste Vagusreizung wirkungslos bleibt. Durchschneidet man beim Hunde beide Vagi, so schlägt das Herz schneller, weil die tonische Erregung, welche das Vaguszentrum andauernd besitzt, jetzt nicht mehr bis zum Herzen fortgepflanzt werden kann, und weil nun allein noch die Sympathicusfasern das Herz innervieren. Die Sympathicusfasern aber sind beschleunigende Fasern, die aus dem Acceleratorenzentrum in der Medulla oblongata stammen und durch die Rami communicantes der unteren Hals- und oberen Brustnerven, sowie des Ganglion stellatum zum Plexus cardiacus verlaufen. Bei Reizung ihres Zentrums in der Medulla oblongata (z. B. durch Erstickung bei durchschnittenen Vagi) oder bei künstlicher Reizung in ihrem Verlauf wird die Herztätigkeit beschleunigt und der Blutdruck steigt.

Graphische Verzeichnung der Herztätigkeit beim Frosch. Suspendiertes Herz. Ein kräftiger Frosch wird curarisiert, indem ihm von einer 1 proz., durchfiltrierten und der Haltbarkeit wegen äußerst schwach angesäuerten Lösung des käuflichen Curare 5—6 Tropfen mit einer Augentropfpipette in den Rückenlymphsack gespritzt werden. Man faßt den Frosch, wie man überhaupt immer Frösche anfassen soll, zwischen Daumen- und Zeigefingerspitze der linken Hand fest in die Lendengegend, damit er nicht wegspringen kann, macht ihm mit einer kleinen Schere am oberen Ende der Rückenhaut durch einen queren Schnitt ein etwa 3 mm breites Loch und führt die Spitze der mit dem nötigen Quantum Curarelösung gefüllten Tropfpipette hier nach unten hin in den Rückenlymphraum ein. Bis zum Eintritt der Lähmung bewahrt man das Tier in einer flachen Schale, die am Boden mit Wasser benetzt und mit einem Deckel verschlossen ist. Nach 15—20 Minuten ist der Frosch gelähmt.

(Über die Wirkung des Curare siehe unten Kapitel VII.) Nachdem nunmehr der Frosch mit dem Rücken nach unten auf eine Korkplatte gelegt und eventuell mit großen schwarzköpfigen Stecknadeln befestigt worden ist, schneidet man mit der Schere über dem Sternum ein Hautviereck von ca. 2 qcm heraus, indem man mit der linken Hand die schlüpfrige Haut mittels einer Hakenpinzette hochhebt. Dann schneidet man in derselben Weise ein Fenster in die Thoraxwand, indem man die Muskeln und das Sternum so weit reseziert, bis das Herz in ganzer Ausdehnung frei liegt. Jetzt hebt man mit einer feinen Pinzette das feine Häutchen des Pericardiums über der Herzspitze hoch, aber so, daß das Herz selbst nicht mitgefaßt wird, und schneidet mit einer feinen Schere das ganze Pericardium von der Herzspitze her bis nach oben hin auf. Das Herz tritt dann leicht durch den ge-

Fig. 50. Serrefine. Etwa 5 mal vergrößert.

Fig. 51. ENGELMANNscher Herzsuspensionsapparat.

spaltenen Herzbeutel heraus. Nun klemmt man in die Muskulatur der äußersten Herzspitze eine sehr feine Serrefine (Fig. 50), die einen Faden trägt, welcher an dem kurzen Arm des ENGELMANNschen

Schreibhebels befestigt ist, während der lange Hebelarm die Schreibspitze trägt (Fig. 51). Dann wird Frosch und Schreibvorrichtung so zueinander orientiert, daß der Faden in der Vertikalebene des Hebels sich befindet und in der Richtung von der Herzspitze weg schräg oder senkrecht nach oben zum Hebel verläuft. Die Höhe der Hebelspitze muß dem Stand der Schreibtrommel entsprechen und der Hebelarm muß etwa wagerecht stehen. Am günstigsten für alle graphischen Verzeichnungen ist eine Hebelstellung, bei der die Spitze des Schreibhebels ebensoviel unter der Horizontalen steht, wie sie bei ihrem Aufstieg über die Horizontale hinausgehen wird. Dann erhält man die besten, d. h. etwa vertikalen Kurven, während bei tieferer oder höherer Stellung der Hebelspitze die Kurven immer schräg liegen und einen unschönen Eindruck machen. Schließlich wird die

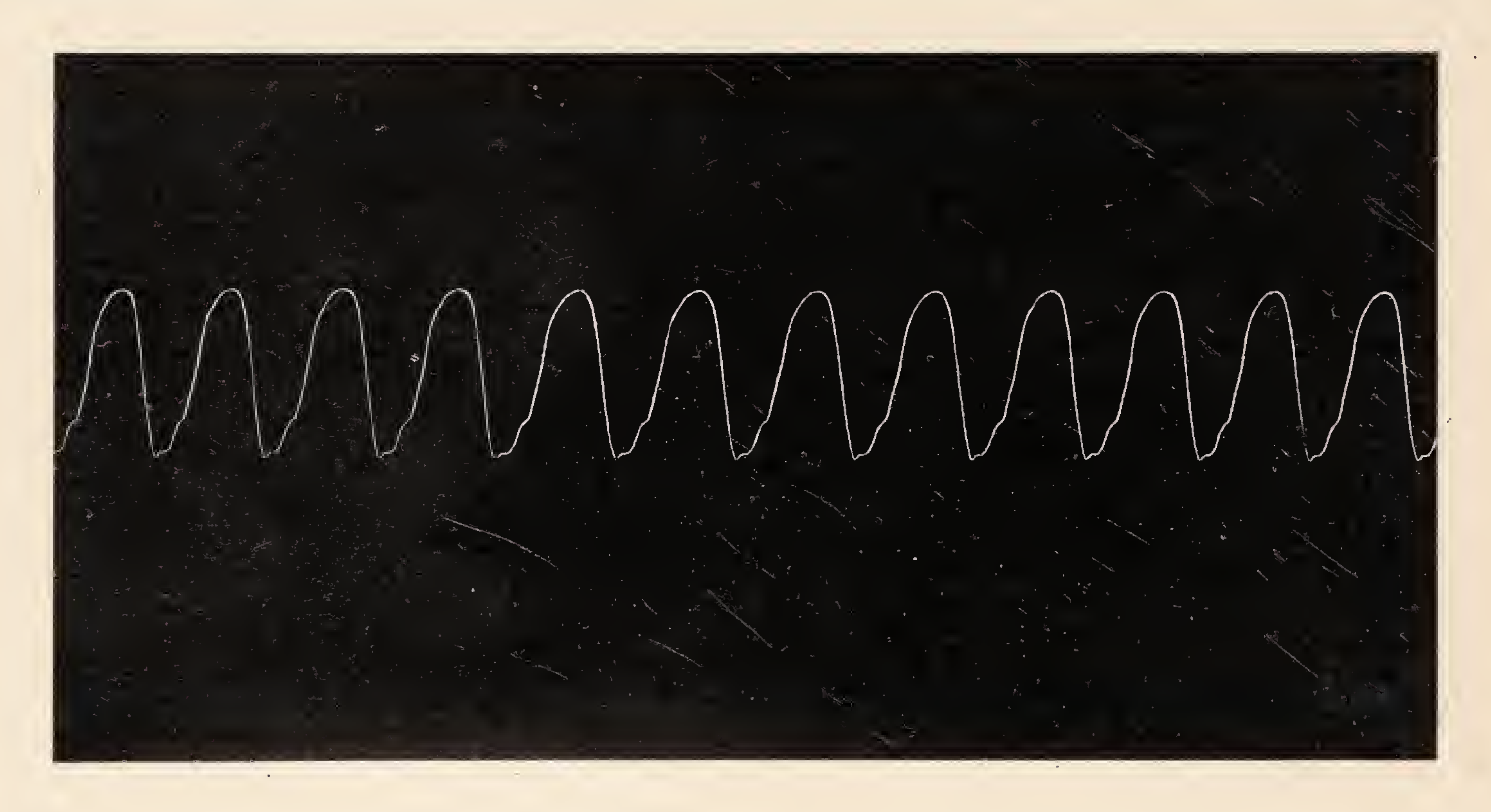


Fig. 52. Kurve des Herzschlages vom Frosch. Die untere Zacke am aufsteigenden Schenkel rührt von der Vorhofskontraktion her.

Hebelspitze an die Schreibfläche angerückt, so daß möglichst wenig Reibung entsteht, aber doch so, daß der Hebel bei seiner Bewegung in dauerndem Kontakt mit der Schreibfläche bleibt. Läßt man die Trommel laufen, so erhält man eine graphische Verzeichnung des Rhythmus der Herzbewegung (Fig. 52). Die Methode kann bei geringer Verbesserung dazu dienen, auch die Bewegung der Kammern und Vorkammern gesondert und gleichzeitig zu verzeichnen und ihr Abhängigkeitsverhältnis voneinander und von anderen Faktoren zu studieren.

Schließlich wird der Frosch zur Betrachtung des Situs seiner Eingeweide benutzt. Man schneidet mit Pinzette und Schere die Bauchdecken auf, so daß die Eingeweide frei liegen, und sieht sich die Lage der einzelnen Organe an. Fig. 53 zeigt dieselben von

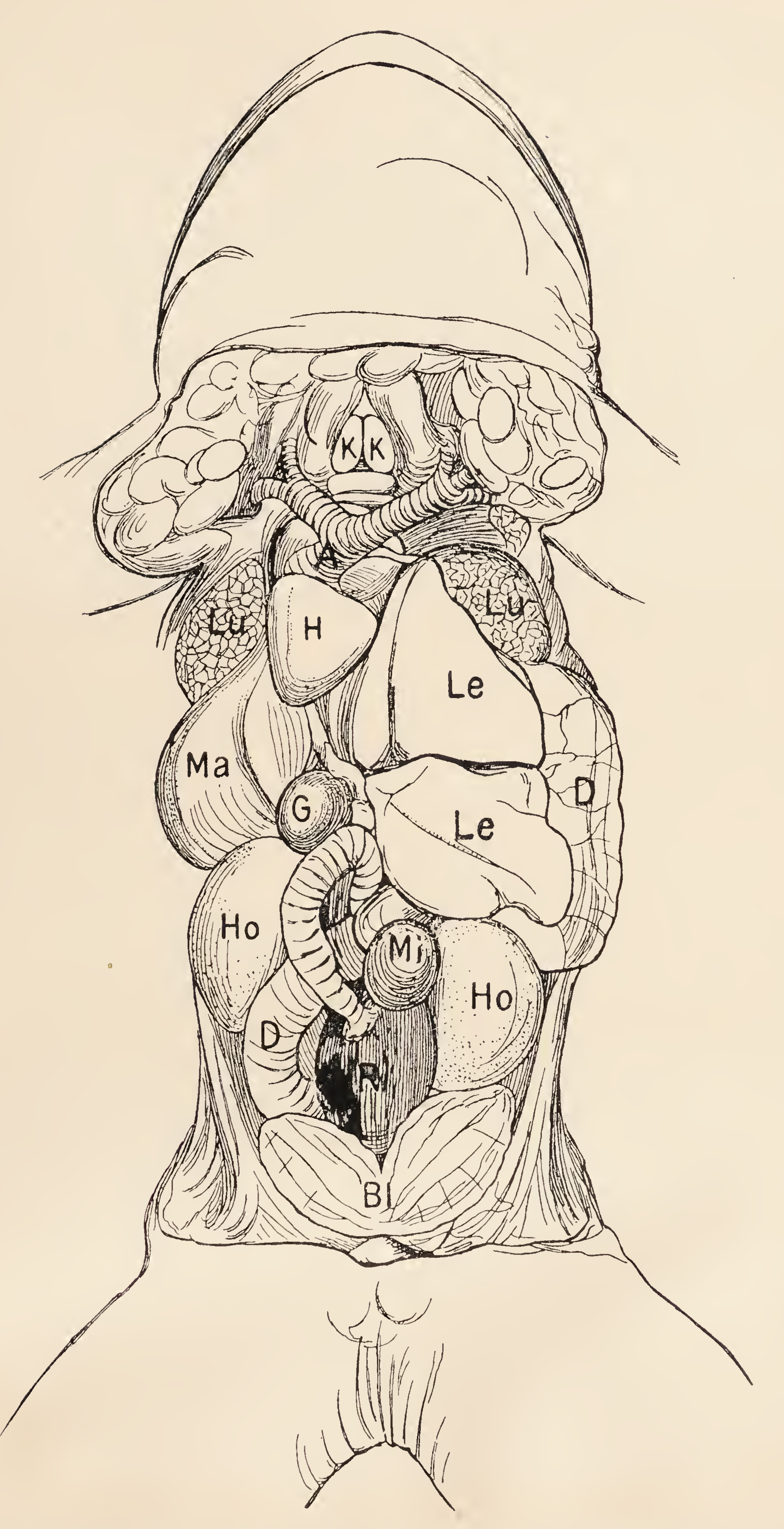


Fig. 53. Eingeweidesitus eines männlichen Frosches. Doppelte Größe. *KK* Kehlkopf, *A* Aorta, *H* Herzkammer, *Lu* Lungen, *Le* Leber, *G* Gallenblase, *Ma* Magen, *D* Darm, *R* Rectum, *Mi* Milz, *Ho* Hoden. Die beiden Nieren sind verdeckt, lassen sich aber als zwei schmale rötliche Streifen unter dem Rectum leicht auffinden. Magen, Leber und Darm sind etwas beiseite geklappt. *Bl* Blase.

einem männlichen Frosch, zur Orientierung ein wenig auseinander gefaltet und in doppelter Größe.

Einfluß der Temperatur auf die Frequenz der Herzschläge. Nach Beendigung des vorigen Versuches wird das Herz mit der Schere von seinen Gefäßverbindungen abgetrennt, herausgenommen und in ein kleines Uhrschälchen mit wenig physiologischer NaCl-Lösung gelegt. Das isolierte Herz schlägt weiter. Man notiert jetzt, mit der Uhr in der Hand, die Zahl der Herzschläge in der Minute bei Zimmertemperatur. Darauf wird das Uhrschälchen mit dem schlagenden Herzen auf Eis gebracht, so daß es bis auf einige Grade über 0° abgekühlt wird. Eine Zählung der Herzschläge in der Sekunde zeigt jetzt eine beträchtliche Verlangsamung der Herztätigkeit. Schließlich wird das Uhrschälchen mit dem schlagenden Herzen auf warmes Wasser von 30° C gesetzt. Sobald die Erwärmung eingetreten ist, stellt man eine bedeutende Beschleunigung der Herztätigkeit fest.

Extrasystole und Refraktärstadium am isolierten Froschherzen. Nach den obigen Versuchen wird das Herz, das nun bereits zu erlahmen beginnt und diastolische Pausen von geringerer oder größerer Dauer zwischen den einzelnen systolischen Kontraktionen zeigt, weil es sich allmählich erschöpft, auf eine Glasplatte gelegt und mit einer spitzen Nadel schwach gereizt. Der Reiz löst eine „Extrasystole“ aus, so daß die diastolische Pause zwischen dieser und der vorhergehenden Systole viel kürzer ist als die diastolischen Pausen bei spontaner Aktion des Herzens. Dafür ist die auf die Extrasystole folgende Pause verlängert: „kompensatorische Pause“. Man tut gut, zu diesen Versuchen Herzen zu nehmen, die bereits längere diastolische Pausen zeigen. Dann sind die Verhältnisse deutlicher zu sehen als bei schnellschlagenden und noch normalen Herzen, bei denen alle Phasen zu kurz aufeinanderfolgen. Zeigt das Herz bereits längere diastolische Pausen, so reizt man nunmehr den Ventrikel durch mehrere schnell aufeinanderfolgende leichte Nadelstiche und überzeugt sich, daß bei einer gewissen Frequenz der Reizung nur der erste oder die ersten Reize mit einer Extrasystole beantwortet werden, die folgenden Reizungen bleiben unwirksam: das Herz verhält sich gegen sie „refraktär“. Macht man mit der Reizung eine Pause, so kann man unmittelbar darauf wieder eine oder einige Extrasystolen durch erneute Reizung hervorrufen usf. Mit zunehmender Erschöpfung des Herzens wird das Refraktärstadium nach jeder Extrasystole immer mehr in die Länge gezogen. Schlägt das Herz nicht mehr spontan, so kann man doch durch Reize zunächst immer noch Extrasystolen erzielen. Schließ-

lich reagiert aber das absterbende Herz auch auf Reize nicht mehr und bleibt dauernd refraktär.

Freilegung des Kaninchenherzens. Ein Kaninchen wird mit Chloralhydrat narkotisiert (siehe p. 64). Ist die Narkose eingetreten, so wird es aufgebunden (p. 45) und am Halse und über der Brust geschoren (p. 46). Darauf wird die Tracheotomie gemacht und eine Trachealkanüle eingebunden (p. 47). Alsdann werden beide Vagi am Halse auf eine Strecke von etwa 2—3 cm freigelegt und mit feuchten Fäden unterführt, die aber nicht angeschlungen werden (p. 70). Nunmehr schreitet man zur Eröffnung des Thorax. Mit einem scharfen Messer wird unter Spannung der geschorenen Thoraxhaut zwischen Daumen und Zeigefinger der linken Hand ein medianer Hautschnitt vom oberen Rande des Sternums bis unterhalb des Processus xiphoideus gemacht. Die beiden Hautwundenränder werden abgelöst und möglichst weit auseinander gezogen. Dann wird die Muskulatur des Thorax mittels einer Hakenpinzette und eines Messers mit einigen von der Medianlinie nach der Seite hin verlaufenden großen Schnitten von den Rippen abpräpariert. Dabei entstehen Muskelblutungen, die man mit feuchten, aber gut ausgepreßten Wattebäuschchen abtupft und die bald zum Stillstand kommen. Ehe nun der Thorax geöffnet wird, muß an der Trachealkanüle das Gummigebläse für die künstliche Atmung angebracht werden (p. 51), damit gleich im Moment der Eröffnung des Thorax die künstliche Atmung von dem assistierenden Kollegen begonnen werden kann. Zugleich sind einige kleine, aber feste Arterienklemmen zur Hand zu legen. Nunmehr wird eine der unteren Rippen seitlich mit einer scharfen Hakenpinzette hochgezogen und mit einer Schere durchgeschnitten, so daß ein Loch in der Thoraxwand entsteht. Jetzt setzt die künstliche Atmung ein im Tempo der normalen Atmung. Es wird nun, indem man eine Rippe nach der anderen zuerst mit der Pinzette, später unter Führung des linken Zeigefingers hochhebt, der seitliche Schnitt durch den Thorax bis zur obersten Rippe verlängert, wobei man darauf zu achten hat, daß der Schnitt immer nur während des Kollabierens der Lungen fortgeführt wird, damit nicht etwa die Lungen verletzt werden. Hat man den Längsschnitt auf der einen Seite zu Ende geführt, so hebt man mit dem linken Zeigefinger den unteren Teil der vorderen Thoraxwand etwas in die Höhe und macht oberhalb des Zwerchfellansatzes einen großen Schnitt mit der Schere quer über die Thoraxwand nach der anderen Thoraxhälfte hinüber. Das muß schnell geschehen, da hierbei die Art. mammariae internae durchschnitten werden, aus denen das Blut in feinem Strahl hervorspritzt. Man klemmt daher sofort mittels der bereit gelegten Arterienklemmen die Ausflußstelle nach

oben hin zu, tupft das ausgeflossene Blut ab und überzeugt sich, daß kein Blut mehr hervorquillt. Diese Operation bietet Gelegenheit, die für die gesamte Chirurgie so wichtige umsichtige und gewandte Be-

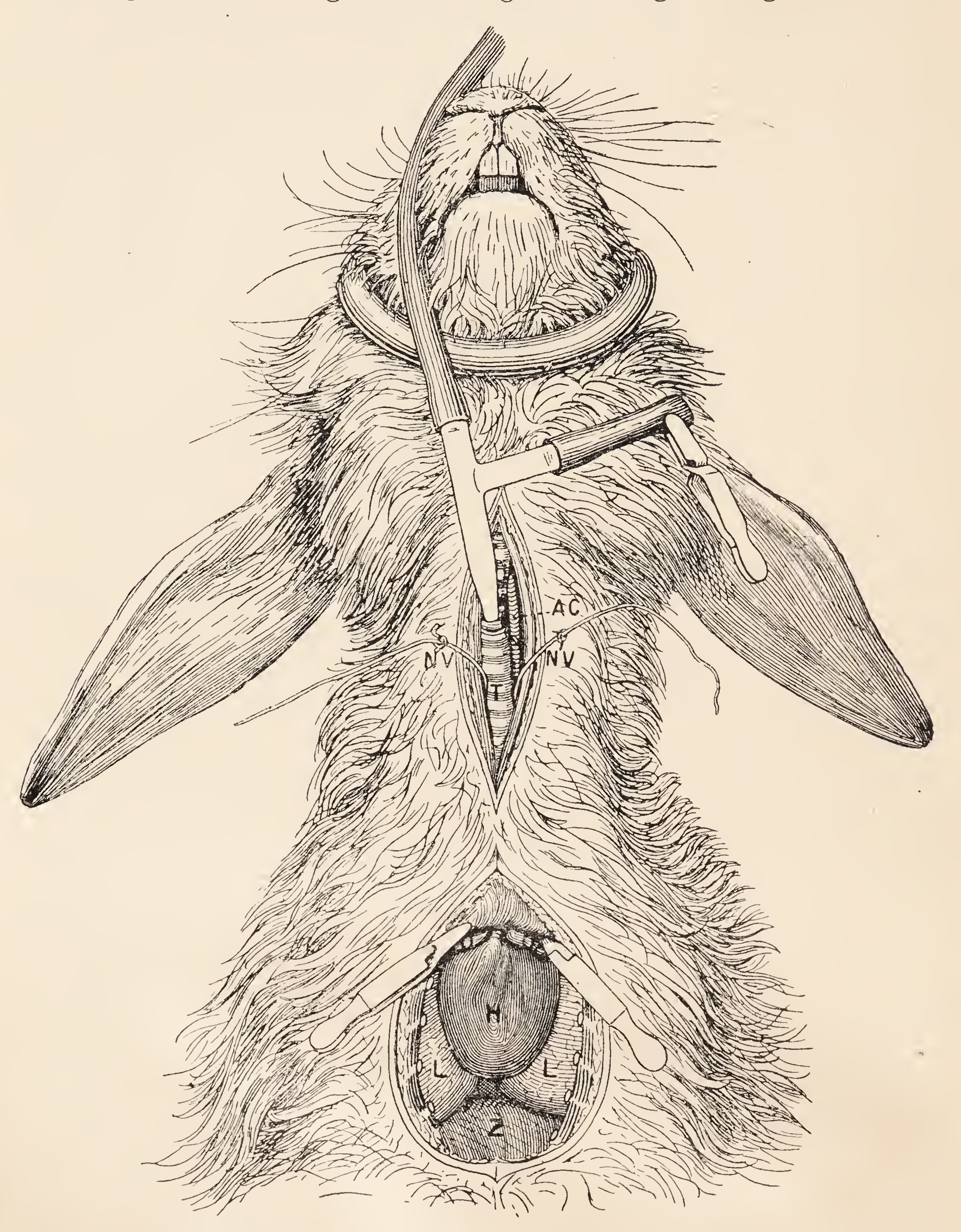


Fig. 54. Tracheotomie, Präparation der Nervi vagi und Freilegung des Herzens beim Kaninchen. *T* Trachea mit eingebundener Trachealkanüle (vgl. p. 51), *AC* Arteria carotis, *NV* Nervi vagi mit angebundenen Fäden, *H* Herz, *L* Lunge, *Z* Zwerchfell.

herrschung der Blutungen etwas zu üben. Darauf wird auf der anderen Thoraxseite ein analoger Schnitt durch die Rippen von unten nach oben ausgeführt, wie auf der ersten, so daß der vordere Teil des

Brustkorbes nach Ablösung des Herzbeutels von der Thoraxwand nach oben hinübergeklappt werden kann. Man kann nun diesen Deckel der Brustwand weit oben durch einen queren Schnitt abtrennen, muß aber dann nochmals die durchschnittenen Mammar-Arterien mit Arterienklemmen abklemmen. Nunmehr sieht man das Herz im Herzbeutel pulsierend zwischen den Lungen liegen (Fig. 54). Man faßt jetzt das Pericardium an der Herzspitze mit einer Pinzette, hebt es in die Höhe und spaltet es in der Medianlinie von unten bis oben durch einen Scherenschnitt. Die Ränder des Pericards kann man schließlich durch ein paar Fäden mit einer Nähnadel an dem Rande der Thoraxöffnung festnähen, so daß das isolierte Herz wie auf einem Teller vor dem Beobachter liegt. Sind Blutungen bei der Operation eingetreten, so ist das ausgeflossene Blut immer sofort abzutupfen. Die künstliche Atmung ist ununterbrochen fortzusetzen.

Reizung des Vaguszentrums durch Erstickung (dyspnoische Vagusreizung). Während man die schnelle rhythmische Tätigkeit des bloßgelegten Herzens andauernd beobachtet, läßt man die künstliche Atmung plötzlich unterbrechen. Das Herz, das vorher, namentlich bei jeder Systole, hellrot erschien, nimmt, während es anfangs noch regelmäßig und schnell weiter schlägt, die mehr blaurote Farbe des venösen Blutes an. Nach etwa $^1/_2$ Minute beginnt es aber Veränderungen im Rhythmus zu zeigen, indem es langsamer schlägt und eine Verlängerung seiner diastolischen Phase erkennen läßt, die allmählich in diastolische Pausen übergeht und schließlich zu vollständigem Stillstand in Diastole führt. Dabei ist das Herz vollkommen erschlafft, groß und mit venösem Blut gefüllt. Es ist jetzt notwendig, sofort wieder mit der künstlichen Atmung zu beginnen, damit das Tier nicht völlig erstickt, sondern sich wieder erholen kann. In der Tat sieht man, daß nach wenigen künstlichen Atmungen das Herz sofort wieder anfängt zu schlagen und nach einigen Schlägen schnell wieder klein wird und arterielle Farbe annimmt. Der Versuch kann öfter wiederholt werden.

Durchschneidung der Vagi und Hemmung des Herzens durch Reizung des peripherischen Vagusendes. An dem gleichen Tier werden, während die künstliche Atmung andauernd fortgesetzt wird, beide freigelegte Vagi mit den darunter geführten Fäden möglichst weit nach dem Kopfe zu fest angeschlungen und oberhalb der Anschlingungsstelle durchschnitten. Das eine Fadenende wird abgeschnitten, so daß man jeden Vagus an einem Faden halten und führen kann (Fig. 54 *NV*). Nunmehr legt man den einen Vagus über die Platinelektroden eines Schlitteninduktoriums (siehe letztes

Kapitel) und reizt ihn zunächst mit einem mittelstarken faradischen Strom. Die erforderliche Stromstärke ist durch allmähliches Annähern der sekundären Spirale auszuprobieren. Dann sieht man, wie bei einer gewissen Stromstärke das Herz anfängt langsamer und mit langgezogener diastolischer Phase zu schlagen. Darauf reizt man mit stärkerem faradischen Strom und beobachtet, wie diastolische Pausen entstehen. Bei starker Reizung schließlich bleibt das Herz vollkommen in Diastole stehen und zeigt dieselben Erscheinungen wie vorhin bei dyspnoischer Reizung des Vaguszentrums. Dehnt man die Vagusreizung sehr lange aus, so beginnen allmählich einzelne Systolen wieder durchzubrechen und schließlich kann das Herz während andauernder Vagusreizung wieder zu langsamer aber rhythmischer Schlagfolge übergehen, weil die Vagusenden im Herzen ermüden.

Im Anschluß an den Versuch kann man sich an demselben Tier überzeugen, daß nunmehr, nachdem die beiden Vagi durchschnitten sind, durch Erstickung kein so schneller Stillstand des Herzens mehr zu erzielen ist, wie es bei intakter Erhaltung der Vagi (siehe oben) durch dyspnoische Reizung des Vaguszentrums der Fall war. Allerdings erstickt bei entgültiger Unterbrechung der künstlichen Atmung schließlich das Herz auch, indem es immer schwächer schlägt, bis schließlich nur noch die oberen Herzteile pulsieren, aber dieser Zustand tritt erst viel später ein und entwickelt sich nur ganz allmählich durch Absterben des Herzens.

Nach Beendigung der Versuche kann das Herz aus dem Körper herausgeschnitten werden und man kann, falls es noch nicht vollständig erstickt ist, die gleichen Versuche am Kaninchenherzen ausführen, die oben (p. 98) vom isolierten Froschherzen beschrieben worden sind.

Will man sich überzeugen, daß auch das isolierte Kaninchenherz außerhalb des Körpers noch rhythmisch zu schlagen vermag, so muß man das Herz, ehe die künstliche Atmung definitiv unterbrochen wird, während es noch kräftig und regelmäßig schlägt, herausschneiden und auf einer mit Kochsalzlösung angefeuchteten Glasplatte beobachten. Dann kann man die allmähliche Entwicklung der Erstickung außerhalb des Körpers verfolgen und die sämtlichen Versuche über die Extrasystolen, die kompensatorischen Pausen und die allmähliche Verlängerung des Refraktärstadiums hier anschließen.

Reflektorische Vagusreizung. Ein Kaninchen, dem 1 Stunde vorher 2 ccm Chloralhydratlösung injiziert worden sind (siehe p. 64), wird in Rückenlage aufgebunden (siehe p. 45). Dann wird ihm eine feine Akupunkturnadel, die an ihrem stumpfen Ende einen kleinen Knopf trägt, durch die Thoraxwand in das Herz gestochen. Zu diesem Zweck

wird zunächst mit der Spitze des Zeige- und Mittelfingers der linken Hand durch Palpation der Thoraxwand die Stelle ermittelt, wo der Herzschlag am deutlichsten zu fühlen ist. Über dieser Stelle nimmt man die Einführung der Nadel vor, indem man die sehr dünne Nadel, um sie nicht zu verbiegen, dicht über der Spitze mit Daumen- und Zeigefinger der rechten Hand faßt und zwischen zwei Rippen am linken Rande des Sternums ein wenig schräg nach der Medianlinie zu etwa 3 cm tief einsticht. Man erkennt die richtige Lage der Nadel an der sofort eintretenden schnellen rhythmischen Bewegung, die sie synchron mit dem Herzschlage ausführt. Ist die Nadel fehlerhaft eingestochen, so kann eine Täuschung eintreten, wenn sie in die Lunge geraten ist. Alsdann macht sie ebenfalls rhythmische Bewegungen, aber langsamer, im Rhythmus der Atmung. Das ist sorgfältig zu beachten und im gegebenen Falle ist die Nadel wieder herauszuziehen und von neuem an der richtigen Stelle einzuführen. Ist das geschehen und schwingt die Nadel im Rhythmus des Herzschlages, so hält man dem Tier einen mit Chloroform getränkten Wattebausch dicht vor die Nasenlöcher, aber ohne damit die Nase zu berühren, so daß das Tier die Chloroformdämpfe bei der Inspiration in die Nase einsaugt. Währenddessen beobachtet man die rhythmischen Schwingungen der Nadel, die man mit ihrem Knopf an eine kleine, an einem Stativ befestigte Glocke anschlagen lassen kann, um ein auf weitere Entfernung wahrnehmbares akustisches Signal in den rhythmischen Glockentönen zu gewinnen. Einige Sekunden nach dem Einsaugen der Chloroformdämpfe tritt eine Verlangsamung des Herzschlages ein, es erfolgen große Pausen zwischen den Nadelschwingungen, und schließlich bleibt die Nadel ganz stehen, die Glockentöne hören auf. Die Chloroformdämpfe haben die sensiblen Trigeminusenden in der Nase gereizt und auf diesem Wege ist die Erregung zentripetal dem Vaguszentrum übermittelt worden, so daß nun reflektorische Herzhemmung eintritt. Steht das Herz still, so muß sofort der Chloroformbausch wieder von der Nase entfernt werden. Alsbald kehrt dann die Herztätigkeit wieder zurück. Der Versuch kann mit einigen Pausen öfter wiederholt werden. Nach Beendigung des Versuches wird die Akupunkturnadel aus dem Herzen gezogen, und das Tier kann sich erholen. Die Akupunktur schadet ihm in der Regel nichts.

Graphische Verzeichnung des Blutdruckes. Vagusreizung. Atropinwirkung am Herzen. Erstickung des Herzens. Ein Kaninchen, dem 1 Stunde vorher 2 ccm Choralhydratlösung gegeben sind (siehe p. 64), wird in Rückenlage aufgebunden (siehe p. 45) und am Halse geschoren (siehe p. 46). Darauf wird die Tracheotomie gemacht und eine Trachealkanüle eingebunden (siehe p. 47).

Dann wird auf der einen Seite in die Jugularvene eine Venenkanüle eingeführt, die mit physiologischer NaCl-Lösung gefüllt und mit einem Stopfen verschlossen ist (siehe p. 52). Sodann werden beide Vagi am Halse auf eine Strecke von 2—3 cm freipräpariert und mit nassen Fäden unterlegt (siehe p. 70). Schließlich wird die Carotis auf der der Venenpräparation entgegengesetzten Körperseite freigelegt in folgender Weise. Indem man die Muskeln und die Haut des Wundrandes mit der Pinzette nach außen zieht, führt man mit der rechten Hand den stumpfen Schlingenführer oder Sucher unter die schon bei der Präparation der Vagi aufgesuchte Carotis (vgl. p. 70) und präpariert dieselbe in stumpfer Weise durch sorgfältige Ablösung des Bindegewebes auf eine Strecke von ca. 2—3 cm frei. Das Gefäß wird dann mit einem nassen Faden möglichst weit nach dem Kopfe hin fest unterbunden. Das eine Fadenende wird abgeschnitten. Nach dem Herzen zu wird das Blutgefäß mit einer schmalen und mit stumpfen (nicht schneidenden!) Rändern versehenen Arterienklemme abgeklemmt. Zwischen Unterbindungs- und Abklemmungsstelle wird ein feuchter Faden zu einer Schlinge zusammengelegt, aber noch nicht angeschlungen. Darauf wird die Arterie am Unterbindungsfaden hochgezogen, gespannt und zwischen Abklemmungsstelle und Unterbindungsstelle dicht neben der letzteren mittels einer feinen Schere quer angeschnitten, so daß ein kleines Loch in der Arterienwand entsteht, durch das die kleine, in dem abgeklemmten Raum der Arterie befindliche Blutmenge herausfließt. Der quere Schnitt darf nicht zu ausgedehnt sein, da sonst die Arterienwand bei der Einführung der Kanüle infolge der Anspannung des Unterbindungsfadens leicht reißt. Nunmehr bindet man eine kleine, der Arterienweite entsprechende Glaskanüle, die mit einem abgeschrägten Ende und einer sattelförmigen Einschnürung versehen ist, mit einer 25 proz. $MgSO_4$-Lösung gefüllt in die Carotis ein, indem man unter Anspannung des Unterbindungsfadens mit der linken Hand in den unteren Abschnitt der Carotis einen stumpfen Sucher einführt, den man gleichfalls mit der linken Hand hält, um unter Führung desselben die Glaskanüle in den ausgedehnten Schlitz mit der Öffnung nach dem Herzen zu hineinzuschieben, immer unter Anspannung der Arterie mittels des Unterbindungsfadens. Die Einführung der Arterienkanüle erfordert, wenn man sie allein ausführt, einige Handgeschicklichkeit. Bei Mangel an Übung ist es zweckmäßiger, sich von jemandem die Arterie am Unterbindungsfaden spannen zu lassen und selbst mit der linken Hand den Sucher, mit der rechten die Kanüle zu handhaben. Liegt die Kanüle weit genug in der Arterie, so wird die vorher untergeschobene Fadenschlinge über der Sattelfurche der Kanüle fest angeschlungen, so daß die Kanüle nicht wieder aus der Arterie herausgleiten kann. Schließlich

werden die Fadenenden abgeschnitten. Nunmehr verbindet man die Glaskanüle mit einem vorher in einem Stativ senkrecht aufgestellten Quecksilbermanometer in folgender Weise: Das aus einem U-förmigen Glasrohr bestehende Manometer, das an seinem einen Schenkel auf dem Quecksilber einen Schwimmer mit Schreibhebel trägt, ist an seinem anderen Schenkel nach außen umgebogen und mit einem kleinen T-Ansatz versehen, der an beiden freien Enden einen geschliffenen Glashahn trägt und durch ein Gummischlauchstück mit einem längeren Bleirohr in Verbindung steht (Fig. 55). Das ganze System ist vorher von der Quecksilbergrenze an bis zum letzten Ende des Bleirohres, das mit einem abgeklemmten Gummischlauchstück verschlossen ist, mit 25 proz. $MgSO_4$-Lösung zu füllen. Dabei verfährt man folgendermaßen: Vor der Verbindung der einzelnen Stücke wird zunächst mit einer Tropfpipette von dem T-Ansatz aus das freie Ende des Manometers gefüllt. Dann wird ebenfalls vom T-Ansatz aus durch den offenen Bleirohrausfluß aus einer Schale $MgSO_4$-Lösung

Fig. 55. Manometer mit Schreibschwimmer (links) und Bleirohr nebst Carotiskanüle (rechts). Das ganze System ist von der Quecksilberoberfläche an bis zur Carotiskanüle mit Flüssigkeit zu füllen.

in das ganze System hochgesaugt und während des Ansaugens das am Bleirohrende befindliche Gummischlauchstück abgeklemmt. Darauf wird von dem freien Schenkel des T-Ansatzes aus mittels einer Tropfpipette so viel $MgSO_4$-Lösung nachgefüllt, daß das ganze System bis oben in den freien Schenkel des T-Rohres hinauf mit der Lösung gefüllt ist und keine Luftblasen mehr enthält. Schließlich werden beide Glashähne geschlossen. Der Höhenstand der Schreibhebelspitze wird nunmehr durch Einstellung einer an den gleichen Schenkel des Manometers angebrachten verschiebbaren Metallschreibspitze (in der Fig. 55 nicht angegeben) markiert, die nachher auf der Trommel die Nulllinie des Blutdruckes verzeichnet. Schließlich wird mittels eines an dem T-Ansatz angebrachten Gummischlauches mit Trichter nach Öffnung des oberen Hahnes bei geschlossenem unteren Hahn ein

Überdruck von etwa 4 cm Quecksilber im Manometer erzeugt, und der obere Hahn wieder geschlossen, so daß der Überdruck in dem geschlossenen System bestehen bleibt. Ist das Manometersystem in dieser Weise vorbereitet, so verbindet man die mit $MgSO_4$-Lösung gefüllte und in die Carotis eingebundene Glaskanüle mit dem Gummischlauchverschlußstück des Bleirohres. Luftblasen, die etwa dabei in das System gelangen, gleiten, besonders wenn man mit dem Finger kleine Erschütterungen an der Kanüle erzeugt, nach oben in den Gipfel des Systems und steigen nachher nach Öffnung des unteren Glashahnes in den unpaarigen Schenkel des T-Rohres, wo sie keine Störung verursachen. Sorgfältig zu beachten ist nur, daß an der Grenze von Blut und $MgSO_4$-Lösung sich keine Luftblase befindet, da sonst leicht eine Blutgerinnung eintritt, die gerade durch die Zwischenschaltung der $MgSO_4$-Lösung zwischen Quecksilberoberfläche und Blut vermieden werden soll (konzentrierte Salzlösungen verhindern die Blutgerinnung, siehe p. 88). Der Überdruck, den man im Manometer künstlich erzeugt, hat den Zweck, ein zu weites Herüberfließen des Blutes aus dem Gefäß in das Röhrensystem zu vermeiden.

Ist alles in dieser Weise hergerichtet, so rückt man die Schreibspitzen des Manometers an eine Kymographiontrommel (siehe p. 62) und erhält den Schreibhebel des Blutdrucks sanft durch einen mit einer kleinen Kugel beschwerten Faden an die Schreibfläche angedrückt, öffnet dann den unteren Glashahn und nimmt die Arterienklemme von der Carotis ab, so daß nun der Blutdruck auf die Flüssigkeitssäule und bis zum Quecksilber des Manometers hin wirken kann. Die Schreibspitze des Manometerschwimmers stellt sich auf einer bestimmten Höhe ein, während der Stand der fixierten, auf der Figur nicht mit angegebenen Schreibspitze den Nullpunkt des Blutdruckes markiert. Der Abstand zwischen beiden Schreibspitzen gibt die halbe Höhe des Blutdruckes an. Sind beide Schreibspitzen ohne zu starke Reibung in Kontakt mit der Trommel gebracht und läßt man nach einer kleinen Pause, die zur Herstellung eines gleichmäßigen Blutdruckes bei dem Tiere erforderlich ist, die Trommel laufen, so verzeichnet der Manometerschwimmhebel nicht nur die Höhe des Blutdruckes, sondern auch allerdings in einer durch die Trägheit des Quecksilbers etwas entstellten Weise alle seine Schwankungen. Man bemerkt, indem man die Blutdruckkurve verzeichnet, zweierlei Wellensysteme: die kleinen kurzen Wellen entsprechen den Pulsschwankungen, die etwas längeren flachen Wellen, die häufig nur sehr schwach angedeutet sind, den Atemschwankungen des Blutdruckes. Bei jeder Inspiration sinkt der Blutdruck infolge der saugenden Wirkung, welche die Erweiterung des Thoraxlumens auf alle Organe im Thorax, nicht nur auf die Lungen, sondern auch auf

Herz und große Gefäßstämme ausübt; bei jeder Exspiration steigt der Blutdruck wieder etwas an. Die passiven Atemschwankungen des Blutdruckes, die noch kompliziert werden können durch aktive intrazentrale Impulse, welche das Atemzentrum bei seinen rhythmischen Entladungen auf das Herzvaguszentrum in der Medulla oblongata ausübt, werden viel deutlicher, wenn die Atmung forciert, dyspnoisch wird, oder wenn man bei dem Tier eine forcierte künstliche Atmung (siehe p. 54) herstellt. Zu diesem Zwecke wird die Trachealkanüle mit einem Gummigebläse verbunden (siehe p. 51). Ist die Trommel eine Weile gelaufen und hat sich eine gleichmäßige Kurve verzeichnet, so klemmt man die Trachealkanüle zu und erzeugt so Dyspnoe. Dabei bemerkt man, wie die Atemschwankungen tiefer und tiefer werden und wie dann im Rhythmus der Atmung plötzliche starke

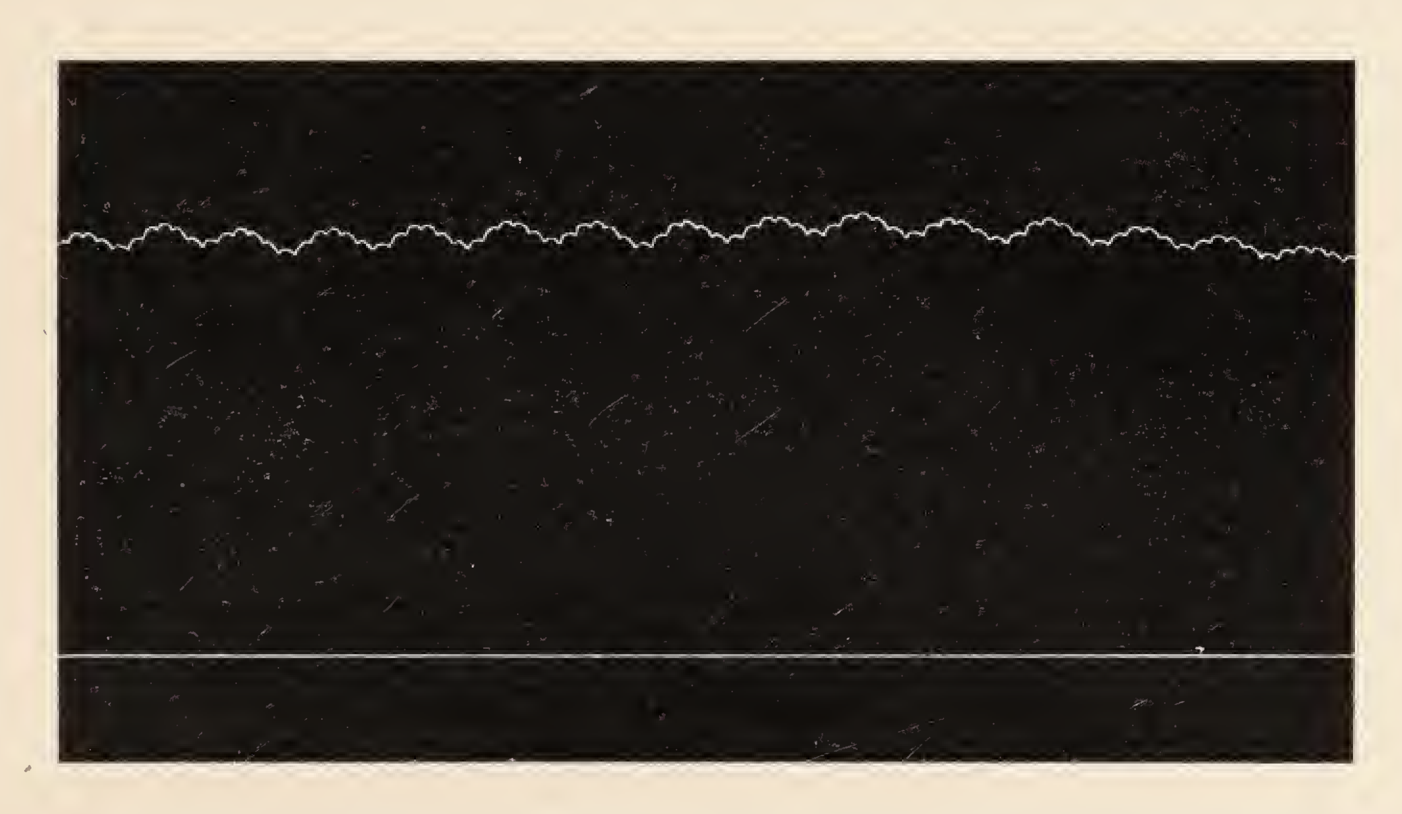


Fig. 56. Blutdruckkurve vom Kaninchen (oben) und Nullinie des Blutdruckes (unten). Die Blutdruckkurve zeigt Atemschwankungen (große Wellen) und Pulsschwankungen (kleine Wellen).

Senkungen des Blutdruckes eintreten, die zurückzuführen sind auf die intrazentrale Erregung des Vaguszentrums durch die heftigen Impulse des Atemzentrums innerhalb der Medulla oblongata (dyspnoische Vagusreizung). Es ist für die Fortsetzung des Versuches gut, die Dyspnoe nicht zu lange andauern zu lassen, da sonst das Tier geschädigt wird. Man öffnet daher die Klemme der Trachealkanüle wieder und kann nun eine Reihe von künstlichen Atmungen anschließen. Dabei kann man sich davon überzeugen, daß die Länge und Tiefe der Atemschwankungen und des Blutdruckes variiert werden kann durch den Rhythmus und den Umfang der künstlichen Atmungen. Ferner bemerkt man, daß bei sehr schneller künstlicher Atmung, bei der die Lungen nicht Zeit haben, genügend zu kollabieren, der Blutdruck bis auf ein sehr niedriges Niveau absinken kann,

während er mit Einsetzen eines langsameren Tempos der künstlichen Atmung wieder steigt. Das rührt daher, daß bei sehr schneller künstlicher Atmung, wenn die Lungenalveolenwände andauernd stark gedehnt sind, die Kapillaren der Lunge mehr oder weniger komprimiert werden, so daß der Blutdurchfluß durch sie stark behindert ist. Es fließt daher in der Zeiteinheit weniger Blut aus der Lungenvene ins Herz zurück als bei ungehindertem Durchfluß, und es gelangt daher auch weniger Blut in die arterielle Blutbahn, d. h. der arterielle Blutdruck sinkt infolge der Stauung im Lungenkreislauf.

Nachdem man das Tier sich wieder etwas hat erholen lassen, bis der Blutdruck wieder gestiegen und gleichmäßig geworden ist, schlingt man die beiden Vagi möglichst weit nach oben hin an und durchschneidet sie oberhalb, indem man zugleich das eine Fadenende an jedem abschneidet. So hat man an dem anderen Fadenende ein etwa 2—3 cm langes, nach dem Herzen zu verlaufendes Stück jedes Vagus zur Verfügung. Nach der Vagusdurchschneidung prägen sich bei natürlicher Atmung die Atemschwankungen des Blutdrucks viel stärker aus als vorher, da ja nach Durchschneidung der Vagi infolge des Verlustes der Selbststeuerung durch die zentripetalen Lungenfasern die Atmung verlangsamt und vertieft, d. h. dyspnoisch wird (vgl. p. 73). Bleibt die Kurve des Blutdrucks auf einem gleichmäßigen Niveau, so führt man jetzt eine Vagusreizung aus, indem man den einen Vagus am Faden hochhebt und über ein paar in der Hand zu haltende Platinelektroden legt, die mit der sekundären Rolle eines Schlitteninduktoriums (siehe letztes Kapitel) verbunden sind. Gleichzeitig kann man die Dauer der Reizung graphisch auf der Trommel markieren, indem man in den primären Stromkreis des Schlitteninduktoriums ein DESPRETZsches Signal einschaltet (siehe letztes Kapitel), dessen Schreibspitze auf der Trommel während der Ruhe eine horizontale Linie, während der Dauer der Reizung aber sehr feine und enge Kurven verzeichnet (siehe Fig. 57 u. 58 untere Linie). Ist die Reizung schwach (großer Rollenabstand), so bewirkt die Tetanisierung des Nerven nur eine schwache Verlangsamung der Pulsfrequenz und ein unbedeutendes Sinken des Blutdrucks. Man steigert nun die Reizintensität durch näheres Heranschieben der sekundären Spirale und tetanisiert den Vagus wieder. Dann erhält man bei einer gewissen Reizstärke eine sehr bedeutende Verlangsamung des Herzschlages und ein dementsprechendes Sinken des Blutdrucks (Fig. 57). Die einzelnen Pulskurven werden sehr groß und langgezogen und zeigen tiefe diastolische Absenkungen (absteigender Schenkel), aber das Herz schlägt doch noch immer in diesem stark verlangsamten Tempo rhythmisch weiter. Unterbricht man die Reizung, so beginnt das Herz wieder schneller zu schlagen und der Blutdruck steigt wieder

an, die Kurve wird wieder normal. Wird die Reizintensität nach einer kleinen Erholungspause noch mehr gesteigert, so ruft sie bei genügender Stärke einen vollständigen Stillstand des Herzens in Diastole hervor (Fig. 58). (Man erinnere sich hierbei an das Bild, das die Vagusreizung am bloßgelegten Herzen lieferte, vgl. p. 101). Dabei sinkt die Blutdruckkurve in einer ununterbrochenen Linie tief hinab bis auf das Minimum und verläuft während der Dauer der Reizung auf diesem niedrigen Niveau als gerade horizontale Linie. Unterbricht man die Reizung nach kurzer Dauer (5—10 Sekunden), so setzen sofort die Herzschläge wieder ein, der Blutdruck steigt, anfangs sogar etwas über seine ursprüngliche Höhe hinaus und stellt sich dann, während die Herztätigkeit wieder zur Norm zurückgekehrt ist, auf seinem Ausgangsniveau wieder ein. Reizt man indessen den peripherischen Vagus längere Zeit hindurch andauernd mit einem starken Reiz, so ist der Erfolg zunächst der gleiche, aber während die Kurve auf ihrem niedrigen Niveau als gerade Linie verläuft, beginnen sehr bald einzelne Systolen durchzubrechen, und allmählich stellt sich trotz der andauernden Reizung eine zwar sehr langsame, aber doch regelmäßig rhythmische Herztätigkeit auf entsprechendem Blutdruckniveau wieder her. Die Vagusreizung wird allmählich unwirksam, weil die Vagusenden im Herzen schließlich ermüden.

Hat sich das Tier wieder ein wenig erholt, so injiziert man mittels der Venenspritze durch die in die Vena jugularis eingebundene Kanüle 1 ccm einer 1proz. Atropinlösung in die Blutbahn und führt nun wiederum eine Vagusreizung aus. Man überzeugt sich, daß jetzt die Vagusreizung, die noch eben sehr starke Hemmung der Herztätigkeit hervorrief, vollkommen unwirksam bleibt. Auch Verstärkung der Reizung hat nicht den geringsten Einfluß auf den Verlauf der Kurve, die ohne irgendwelche Störung weiterläuft. Das Atropin hat die Vagusenden im Herzen gelähmt.

Schließlich läßt man das Tier ersticken, indem man die Trachealkanüle verschließt, und beobachtet an der fortlaufenden Kurve die Veränderung des Blutdrucks und das Erlöschen der Herztätigkeit. Sehr bald, nachdem man den Verschluß der Trachea hergestellt hat, beginnt ganz allmählich der Blutdruck bis zu einem gewissen Höhepunkt anzusteigen. Das beruht auf einer Erregung des in der Medulla oblongata gelegenen Vasokonstriktoren-(Vasomotoren-)Zentrums (siehe weiter unten), die sich infolge des Sauerstoffmangels entwickelt, wie die Erregung aller Zentra der Medulla oblongata bei Erstickung. Diese „dyspnoische Blutdrucksteigerung“ kann natürlich nur zum Ausdruck kommen, wenn die beiden Vagi wie im vorliegenden Falle durchschnitten oder gelähmt sind. Hat die Blutdrucksteigerung eine gewisse meist nicht sehr beträchtliche Höhe erreicht, so sinkt der

Blutdruck ganz allmählich mehr und mehr ab, weil das Vosomotorenzentrum jetzt mehr und mehr gelähmt wird und weil auch die Herztätigkeit allmählich erlahmt. Das Herz erstickt. Man sieht, wie die

Fig. 57. Schwache Reizung des Herzvagus. Oben Kurve des Blutdrucks, in der Mitte Nullinie des Blutdrucks, unten Linie des DESPRETZschen Signals, das die Dauer der Reizung anzeigt. Die senkrechte Linie gibt den Moment des Beginns der Vagusreizung und dann den entsprechenden Punkt der Blutdruckkurve an. Sie zeigt, daß die Senkung des Blutdrucks nicht im Moment des Beginns der Reizung des Vagus, sondern etwas später einsetzt.

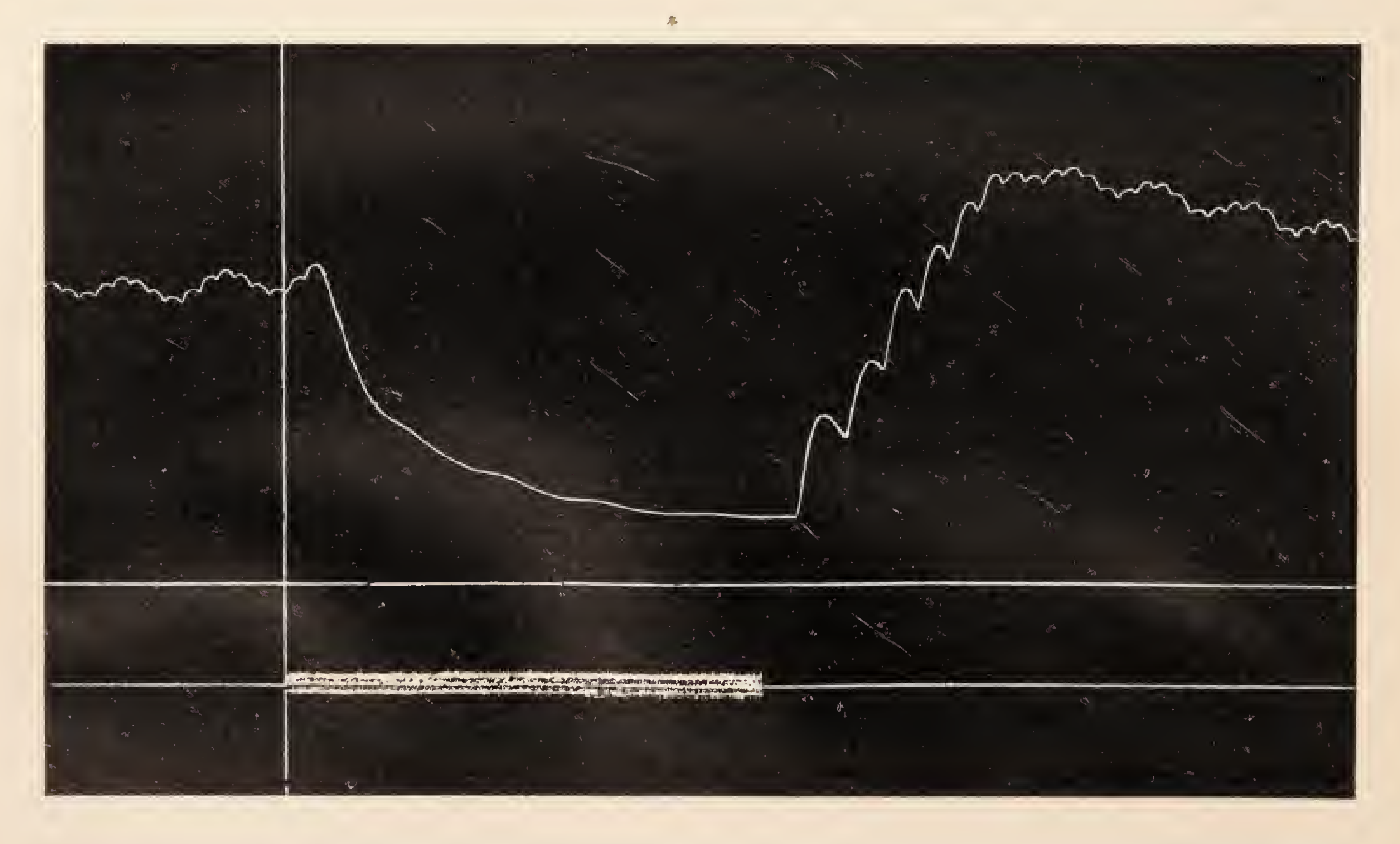


Fig. 58. Starke Reizung des Herzvagus. Die Kurven haben dieselbe Bedeutung wie in Fig. 57.

einzelnen Herzschläge immer mehr diastolisch werden und langsamer aufeinanderfolgen. Allmählich werden die Herzschläge immer schwächer und kleiner und heben sich bald kaum noch auf der Kurve ab. Durch fortgesetzte künstliche Atmung gelingt es aber selbst in diesem Zustande meist noch dem Herzen so viel Sauerstoff zuzuführen, daß es wieder zum gewöhnlichen Schlagrhythmus zurückkehrt. Das ist ein recht augenfälliges Beispiel für die ungeheure Abhängigkeit des Lebens vom Sauerstoff. Läßt man das Herz aber, ohne künstliche Atmung zu machen, ersticken, so steht es schließlich vollkommen still, die Kurve wird eine gerade Linie, der Blutdruck ist bis auf O gesunken. Häufig beobachtet man bei der Erstickung des Herzens eine Periodenbildung in der Tätigkeit des Herzens, indem das Herz periodisch wiederkehrende Reihen von einzelnen etwas kräftigeren und wieder einzelnen schwächeren Systolen ausführt, ehe es schließlich aufhört zu schlagen.

Die Kurven werden fixiert (siehe letztes Kapitel).

2. Die Blutgefäße und ihre Innervation.

Theoretische Vorbemerkungen. Die Blutgefäße bilden verzweigte Röhren mit elastischen Wänden. Zwischen Arterien, Kapillaren und Venen bestehen aber wesentliche Unterschiede im Bau der Wand. Bei den Arterien, namentlich den mittleren und kleinen, finden sich in der Wand reichliche Massen von muskulösen Elementen. Es sind glatte Muskelfasern, die teils längs, teils zirkulär verlaufen. Ebenso sind in der Arterienwand elastische Fasern in reichlicher Entwicklung vorhanden. In den Kapillaren fehlen sowohl die muskulösen wie die elastischen Fasern. Ihre kontraktile, dehnbare und elastische Wand besteht lediglich aus einer einschichtigen Lage von Epithelzellen. In den Venen ist die Wand im Verhältnis zu den Arterien sehr dünn und enthält nur wenige elastische und nur spärliche, an einzelnen Stellen sogar gar keine muskulösen Fasern. Auf der Kontraktilität, Dehnbarkeit und Elastizität der Gefäßwände beruht der zweite wichtige im Zirkulationsapparat gelegene Faktor für die Regulierung des Blutdrucks (der erste ist die Frequenz der Herztätigkeit. Siehe oben p. 94). Es ist klar, daß der Blutdruck steigen muß, wenn der Kontraktionsgrad der Gefäßwände zunimmt, daß er abnehmen muß, wenn die Gefäßwände erschlaffen. Da die kleinen und mittleren Arterien die reichste Entwicklung muskulöser Elemente in ihren Wänden besitzen, so wird die Regulierung des Blutdrucks von seiten des Gefäßsystems ganz überwiegend den mittleren und kleinen Arterien zufallen. Wie überall, so hat die glatte Muskulatur auch in den Gefäßen einen Tonus, d. h. sie befindet sich andauernd in einem gewissen Zustande der Erregung, also der Kontraktion. Dieser Tonus kann einerseits gesteigert, andererseits herabgesetzt werden. Im ersteren Falle muß dementsprechend der Blutdruck steigen, im letzteren sinken.

Eine Beeinflussung des Tonus der Blutgefäßmuskulatur kann entweder peripherisch geschehen oder von seiten des zentralen Nervensystems. Peripherisch wirkt z. B. das Nebennierenextrakt, indem es die Gefäße zu heftiger Kontraktion veranlaßt, wenn es in die Blutbahn gebracht wird, so daß der Blutdruck plötzlich enorm ansteigt. Im zentralen Nerven-

system liegt das Hauptzentrum für die Verstärkung des Tonus (Vasokonstriktion), das Vasomotoren-(Vasokonstriktoren)-Zentrum in der Medulla oblongata. Von hier aus gehen die Vasokonstriktorenfasern in die Seitenstränge des Rückenmarks und treten aus verschiedenen Niveaus des letzteren durch die vorderen Wurzeln in den Grenzstrang des Sympathicus über (vgl. Kapitel IX), mit dessen Fasern sie teils direkt, teils auf dem Wege von anderen Nervenstämmen (z. B. Ischiadicus) zu allen Gefäßgebieten des Körpers verlaufen. Untergeordnete Vasokonstriktorenzentren finden sich anscheinend auch im Rückenmark und einzelne Ganglien sind im Sympathicus in die Gefäßnervenbahn eingeschaltet. Das Hauptgefäßnervenzentrum in der Medulla oblongata besitzt einen eigenen Tonus, d. h. es befindet sich dauernd in Erregung. Das geht daraus hervor, daß nach Durchtrennung der Nervenbahn, die das Vasomotorenzentrum mit den Gefäßen verbindet, eine Erschlaffung der Gefäßmuskeln bis zu einem gewissen Grade eintritt, so daß die Gefäße sich beträchtlich erweitern. Reizung des peripherischen Stumpfes der durchschnittenen Nervenbahn ruft dagegen eine Verengerung der betreffenden Gefäße hervor. Der tonische Erregungszustand des Gefäßzentrums kann nun im intakten Körper gesteigert oder herabgesetzt werden und zwar wie bei allen Zentren entweder durch direkt auf das Zentrum einwirkende Reize oder durch Reize, die ihm auf dem Wege zentripetaler Nerven zugeführt werden. Direkt erregt wird das Vasomotorenzentrum wie alle Zentra der Medulla oblongata durch O_2-Mangel („dyspnoische Blutdrucksteigerung" siehe p. 94). Direkt gelähmt wird es durch gewisse Stoffe, die ihm durch die Blutbahn zugeführt werden können, z. B. durch Amylnitrit, dessen Dämpfe man durch die Atmung in das Blut bringen kann (Sinken des Blutdrucks). Auf zentripetalem Wege kann das Gefäßzentrum erregt werden durch zahlreiche sensible Nerven, z. B. durch sensible Trigeminusfasern (Steigen des Blutdrucks). Gehemmt wird es durch Reizung des Nervus depressor. Der Effekt hinsichtlich des Blutdrucks bei Depressorreizung ist auf dem Wege des Vasomotorenzentrums derselbe wie auf dem Wege des Vaguszentrums, nämlich Sinken des Blutdrucks, indem das Vasokonstriktorenzentrum von den Depressorfasern her gehemmt, das Vaguszentrum (Herzhemmungszentrum) vom Depressor her erregt wird. Ob außer dem Vasokonstriktorenzentrum auch ein einheitliches Vasodilatatorenzentrum in der Medulla oblongata existiert, wie manche annehmen, ist zweifelhaft. Jedenfalls aber kennen wir einzelne dilatatorisch wirkende Nervenfasern in unserem Körper, bei deren Reizung stets eine Gefäßerweiterung eintritt, wie z. B. die Chorda tympani für die Blutgefäße der Glandula submaxillaris und sublingualis, die Nervi erigentes für die Arterien des Penis.

Außer den rhythmischen Blutdruckschwankungen, die im Gefäßsystem als Pulsschwankungen infolge der Herztätigkeit und als Atemschwankungen (siehe oben p. 105) bemerkbar sind, können auch Schwankungen durch rhythmische Erregungen des Gefäßzentrums entstehen und zwar kleinere Wellen, die dem Atemrhythmus parallel gehen und durch intrazentrale Erregung des Gefäßzentrums durch die Atemimpulse bedingt sind (Traube-Heringsche Wellen), und länger gestreckte, größere Wellen, die immer mehrere Atemwellen umfassen (Siegmund Mayersche Wellen).

Zirkulation des Blutes in den Kapillaren des Frosches. Zu den Versuchen werden einige Frösche eine Viertelstunde vorher schwach kurarisiert (siehe oben p. 94). Es genügen hier 2—3 Tropfen der 1 proz. Lösung. Ist die Lähmung eingetreten, so benutzt man die Frösche zu folgenden Versuchen:

a) Beobachtung der Zirkulation in der Schwimmhaut. Ein Frosch wird mit dem Rücken nach unten auf eine ca. 0,5 cm dicke Korkplatte gelegt, die an einer Stelle ein etwa 1,5 cm großes mit einem Korkbohrer ausgestanztes Loch hat. Über diesem Loch wird die Schleimhaut zwischen 2. und 3. Zehe mit Igelstacheln ein wenig (nicht zu straff) gespannt, so daß sie keine Falten macht, und nach Anfeuchtung mit einem Splitter eines zerbrochenen Deckglases belegt. Dann wird die Korkplatte unter das Mikroskop gebracht und das Präparat zunächst mit schwacher Vergrößerung betrachtet. Man sieht zwischen den Bindegewebs-, Epithel- und sternförmigen Pigmentzellen größere und kleinere Gefäße in mehrfacher Verzweigung verlaufen und erkennt in ihnen die Strömung des Blutes an der Bewegung der Blutzellen. Bisweilen bemerkt man in den etwas größeren Arterien deutlich die rhythmische Beschleunigung des Blutstromes, die dem Pulse entspricht. Im übrigen kann man sofort entscheiden, ob ein Gefäß eine Arterie oder eine Vene ist, nicht etwa an der Farbe des Blutes, die hier keinen deutlichen Unterschied zeigt, sondern indem man die nächste Verzweigungsstelle aufsucht. Strömt das Blut hier aus dem ungeteilten Stamm in die beiden Zweige hinein, so ist es eine Arterie, strömt es aus den beiden Zweigen in den gemeinsamen Stamm, so handelt es sich um eine Vene. Bei stärkerer Vergrößerung kann man dann die einzelnen Blutzellen deutlich erkennen und auf ihrem Wege verfolgen, namentlich in den kleinsten Gefäßen, wenn die Blutströmung etwas verlangsamt ist. Man sieht dann, wie an engen Stellen die roten Blutzellen hindurchgequetscht werden, indem ihre Gestalt deformiert aber nach Überwindung des Engpasses infolge ihrer Elastizität sofort wieder hergestellt wird. Man unterscheidet ferner die roten von den weißen Blutzellen und sieht, wie die letzteren häufig in größerer Zahl an der Innenwand der Gefäße festhaften, gelegentlich aber auch wieder losgerissen und vom Blutstrom fortgeführt werden.

b) Beobachtung der Zirkulation in der Harnblase. Ein unvergleichlich schöneres Bild bietet die Blutzirkulation in den Gefäßen der Blase. Man stellt das Präparat in folgender Weise her. Man bringt den kurarisierten Frosch auf einer Glasplatte in Rückenlage und schneidet, indem man die Haut mit einer Hakenpinzette faßt, seitlich in die Lendenhant ziemlich nahe dem Oberschenkel mit der Schere ein ca. 1 cm langes schlitzförmiges Loch, das man vor-

sichtig durch die Muskeln der Lende bis in die Bauchhöhle hinein erweitert. Nunmehr bringt man den Frosch in die Bauchlage und führt mit einer Tropfpipette (Augentropfglas), die gut mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllt ist, diese Lösung in die Blase, indem man die Spitze der Tropfpipette durch den After einführt und dann die Lösung durch Druck auf die Gummihülse der Tropfpipette in die Blase entleert. Dabei ist darauf zu achten, daß man keine Luftblasen mit in die Harnblase hineinspritzt. Ist die Blase auf diese Weise gefüllt, so läßt man sie durch einen Druck, den man mit Daumen und Zeigefinger auf die Lendengegend des Frosches ausübt, seitwärts durch den Schlitz in der Bauchhöhle hindurchgleiten, so daß sie neben der Bauchhaut flach auf der Glasplatte liegt. Ist sie noch nicht genügend gefüllt oder entleert sie sich wieder, was bei allzu starker Lähmung des Frosches leicht eintritt, so füllt man wieder in derselben Weise Kochsalzlösung nach. Schließlich bringt man das Präparat auf den Objekttisch des Mikroskops und kann nun die kristallklare Blasenwand zuerst bei schwacher, dann bei stärkerer Vergrößerung betrachten. Dabei ist es nötig, mit dem Tubus des Mikroskops der Blasenwand, die sich durch ihre Kontraktionen leicht verschiebt, gelegentlich zu folgen. Die Gefäßverteilung in der Blase ist wesentlich anders als in der Schwimmhaut. Man sieht hier zwischen den Muskelfasern ziemlich langgestreckte und nur spärlich verzweigte Gefäße, in denen man wundervoll die Bewegung der Blutzellen studieren kann, da das Bild wegen des Fehlens der Pigmentzellen viel klarer ist als das der Schwimmhaut.

Graphische Verzeichnung des Pulses beim Menschen (Sphygmographie). Man hat seitens der klinischen Medizin der Sphygmographie beim Menschen lange Zeit eine ganz ungerechtfertigte Bedeutung beigelegt und sie in übertriebener Weise zu diagnostischen Zwecken verwendet. Davor muß physiologischerseits gewarnt werden. Die Sphygmographie beim Menschen ist und wird immer eine durchaus unexakte Methode bleiben, mit der man an demselben Individuum an derselben Körperstelle selbst bei Verwendung der besten Apparate kurz nacheinander ganz verschiedenartige Pulskurvenformen verzeichnen kann, ohne daß sich in der Zirkulation der Person irgendetwas geändert hätte. Das einzige, was man zuverlässig mit der Sphygmographie darstellen kann, ist Frequenz und Rhythmus des Pulses. Diese kann der Arzt aber nebst manchen anderen Einzelheiten des Pulses ebensogut und zum Teil besser mit der Hand fühlen. Das Prinzip der Sphygmographie besteht in einer Übertragung der Druckschwankungen des Pulses durch Vermittlung einer geschlossenen Luftsäule auf einen Schreibhebel. Zu diesem Zweck kann man zwei durch

einen Gummischlauch verbundene MAREYsche Kapseln (siehe p. 63) benutzen, eine große, die auf ihrer Gummimembran einen Knopf zum Aufsetzen auf eine Arterie (A. radialis) trägt, und eine kleinere, an der auf der Gummimembran ein Schreibhebel angebracht ist. Man kann aber, um die Anordnung zu vereinfachen, ohne sie unzuverlässiger zu gestalten, die eine Kapsel ganz weglassen und an ihrer Stelle einen sehr kleinen Glastrichter von nur 2—3 cm Durchmesser der breiten Seite verwenden, den man durch einen Gummischlauch mit der MAREYschen Schreibkapsel verbindet. Dann benutzt man direkt die Körperhaut, auf die man den Trichter aufsetzt, als Verschlußmembran des Systems. Man verfährt dann folgendermaßen. Man palpiert mit Zeige- und Mittelfinger der linken Hand, wo man den Carotispuls an der rechten Seite des Halses am stärksten fühlt. Dort setzt man die Trichteröffnung mit der rechten Hand auf, nachdem man die Schreibhebelspitze der MAREYschen Kapsel an eine Kymographiontrommel angerückt hat. Läßt man jetzt die Trommel laufen, so erhält man eine Kurve, die den Rhythmus des Pulses graphisch zum Ausdruck bringt, die je nach der Länge des Schreibhebels, je nach der Lage des Trichters und je nach dem Druck, mit dem man den Trichter aufsetzt usw., verschieden hohe Ausschläge zeigen kann.

Blutdruckmessung beim Menschen nach Riva-Rocci. Zur Messung des arteriellen Blutdrucks beim Menschen dienen eine Reihe von Apparaten, die auf dem Prinzip beruhen, eine Arterie durch einen variierbaren und manometrisch meßbaren Druck allmählich so weit zu komprimieren, bis der Puls unterhalb der Druckstelle verschwindet, d. h. bis die Arterie an der Kompressionsstelle kein Blut mehr hindurchläßt. Der Druck, der hierzu eben nötig ist, entspricht dem arteriellen Blutdruck an der betreffenden Stelle. Das Sphygmomanometer von RIVA-ROCCI (Fig. 59) gestattet es, eine solche Messung für die Arteria brachialis am Oberarm auszuführen. Es besteht aus einem kleinen, gläsernen und auf einem Stativ befestigten Quecksilberbassin, das ein nach oben hin offenes, unten in das Quecksilber eintauchendes Manometersteigrohr trägt, hinter dem sich eine Millimeterskala befindet, deren Nullpunkt mit dem Quecksilberniveau zusammenfällt. An zwei gegenüberliegenden Seiten trägt das Quecksilberbassin einen Tubus. An dem einen dieser Tuben, der ein luftdicht verschließbares Ventil (Fig. 59 *V*) enthält, wird ein Gummigebläse (Fig. 59 *G*) befestigt. Der andere Tubus ist durch einen einfachen Gummischlauch mit dem ringförmigen und mittels einer Klemme (Fig. 59 *K*) für verschiedene Armdicke einstellbaren, sowie luftdicht zu verschließenden, flachen Kompressionsschlauch (Fig. 59 *Schl*) ver-

bunden. Zur Messung des Blutdruckes in der Brachialis legt man den Kompressionsschlauch, der vor zu starker Ausdehnung mit einer Seidenhülle geschützt ist, um die Mitte des entblößten Oberarms bei erschlaffter Armmuskulatur herum, befestigt ihn durch geeignetes Einstellen der Klemme, so daß er nicht allzufest anliegt, und preßt nun durch rhythmische Kompressionen der Gebläsebirne Luft in das luftdicht geschlossene System. Dadurch steigt der Druck in dem System und kann am Manometer abgelesen werden. Der Kompressionsschlauch legt sich infolge seiner prallen Füllung immer fester

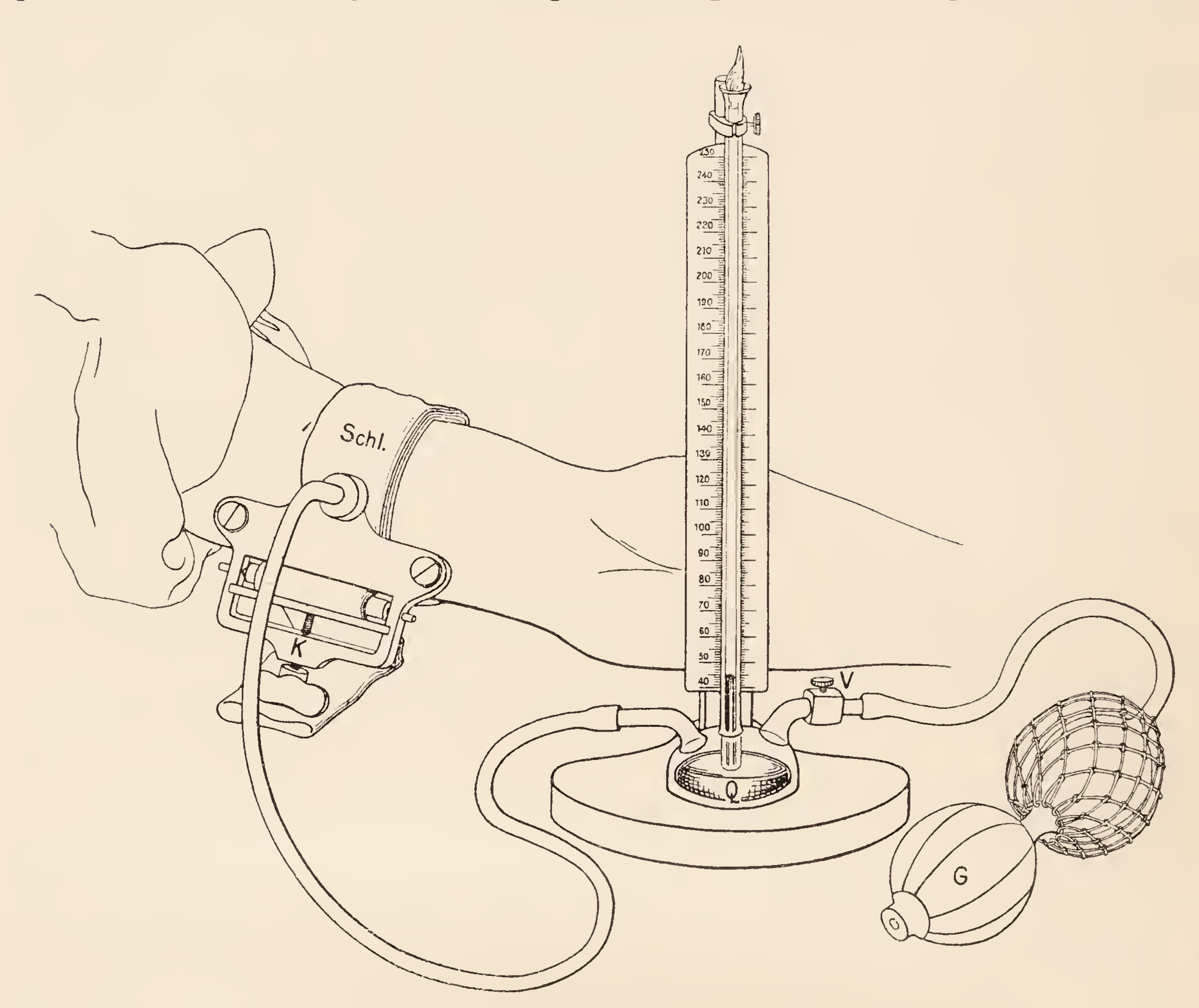


Fig. 59. Blutdruckmessung beim Menschen mit dem Apparat von RIVA-ROCCI. *Q* Quecksilberbassin des Manometers, *V* Ventil, *G* Gummigebläse, *Schl* Kompressionsschlauch, *K* Klemme des letzteren.

um den Oberarm, indem er ihn mit steigendem Druck immer stärker komprimiert. Man fühlt nun mit der linken Hand den Puls an der Radialis des komprimierten Armes und steigert durch die Kompressionen der Gebläsebirne den Druck so lange, bis der Puls schwächer und schwächer wird und schließlich ganz verschwindet. Dann liest man den Druck an der Manometerskala ab und läßt durch Öffnen der Ventilschraube bei *V* etwas Luft aus dem System entweichen, bis der Puls wieder auftritt. In diesem Zeitpunkt liest man den Manometerdruck wiederum ab und nimmt aus beiden Druckwerten

den Mittelwert. Dieses gibt bis auf einige Millimeter genau den Blutdruck der Brachialis an. Es ist zweckmäßig, die Messungen mehrmals auszuführen und die Mittelwerte aus verschiedenen Messungen zu benutzen, um einen möglichst kleinen Fehler zu erhalten. Das Aufhören und die Wiederkehr des Pulses kann eventuell auch an den rhythmischen Schwankungen der Quecksilberoberfläche im Manometerrohr mit dem Auge beobachtet werden.

Dyspnoische Blutdrucksteigerung am Kaninchen. Wirkung des Amylnitrits und des Nebennierenextrakts. Die dyspnoische Blutdrucksteigerung ist bereits oben beschrieben worden (p. 109). Der Versuch kann in Verbindung mit der Untersuchung über die Wirkung des Nebennierenextraktes hier noch einmal wiederholt werden. Ein chloralisiertes Kaninchen wird in Rückenlage aufgebunden. Am Halse wird die Tracheotomie gemacht und eine Trachealkanüle eingebunden (p. 51). Darauf werden beide Vagi freigelegt und durchschnitten (p. 70 ff.). Schließlich wird in die Jugularvene der einen Seite eine Venenkanüle eingeführt (p. 51) und die Carotis der anderen Seite mit der manometrischen Schreibvorrichtung verbunden (p. 104). Hat man so eine gleichmäßige Kurve des Blutdruckes mit seinen Puls- und Atemschwankungen erhalten, so wird durch Verschluß der Trachealkanüle ein Erstickungsanfall erzeugt und man verfolgt die allmähliche dyspnoische Blutdrucksteigerung, die durch Reizung des Vasokonstriktorenzentrums entsteht, bis der Blutdruck wieder zu sinken beginnt (p. 109). Dann läßt man das Tier wieder atmen resp. macht künstliche Atmung (p. 51), bis der Blutdruck wieder normal, die Kurve wieder gleichmäßig geworden ist. Bisweilen sind jetzt deutliche TRAUBE-HERINGsche und SIEGMUND MAYERsche Wellen zu sehen.

Nunmehr hält man dem Tier, indem man die eine Öffnung der Trachealkanüle verschließt, vor die andere Öffnung derselben einen mit einigen Tropfen Amylnitrit getränkten Wattebausch, so daß das Tier die Dämpfe einatmen muß. Innerhalb einer Minute beginnt der Blutdruck beträchtlich zu sinken, weil das Amylnitrit das Vasokonstriktorenzentrum lähmt.

Ist die Amylnitritwirkung vollständig abgeklungen und der Blutdruck wieder normal geworden, so injiziert man dem Tier mittels einer Venenspritze in die Jugularis eine Lösung von Nebennierenextrakt (Adrenalin). Man kann zur Herstellung dieser Lösung am bequemsten Nebennierentabletten (Adrenalintabletten) benutzen (nicht zu alte Präparate!), indem man von denselben je eine Pastille mit 20 ccm destillierten Wassers in der Reibschale verreibt und die trübe Flüssigkeit durchfiltriert. Von dem Filtrat injiziert man etwa

1—3 ccm in die Vene. Nur wenige Sekunden nach der Injektion steigt plötzlich der Blutdruck rapide bis zu einer beträchtlichen Höhe an, weil das Adrenalin peripherisch die Gefäße zu heftiger Kontraktion veranlaßt. Dieser Gefäßkrampf bleibt nur kurze Zeit bestehen. Der Blutdruck hält sich nur einige Sekunden auf der maximalen Höhe und sinkt dann ganz allmählich wieder ab. Hat er sein gewöhnliches Niveau wieder erreicht, so kann man durch erneute Injektion von Adrenalin eine neue plötzliche Blutdrucksteigerung hervorrufen. Bei zu großen Dosen von Nebennierenextrakt tritt eine Beeinflussung des Herzens ein derart, daß auf der Höhe der Adrenalinwirkung einzelne starke diastolische Pulse erscheinen, die ähnlich aussehen wie Vaguspulse, die aber nicht vom Vagus herrühren können, da ja beide Vagi durchschnitten sind. Sie beruhen auf Nebenwirkungen des Adrenalins auf das Herz.

Nach Schluß des Versuches kann man das Tier ersticken lassen und noch einmal die p. 111 geschilderten Erscheinungen an der Kurve verfolgen, oder man tötet das Tier durch Verblutenlassen, indem man die beiden Carotiden durchschneidet und das Blut in einem untergestellten Gefäß auffängt. Blutgerinnung. Stehenlassen: Austritt des Serums usw.

Die Kurven werden fixiert (siehe letztes Kapitel).

Reizung der Gefäßnerven im Sympathicus. Ein Kaninchen wird in der gewöhnlichen Weise narkotisiert und aufgebunden. Nachdem Haut und Muskeln am Halse bis auf die Trachea gespalten sind (p. 47), wird die Carotis an einer Seite aufgesucht. Man sieht, indem man sie mit einem stumpfen Schlingenführer hochhebt, neben ihr die Nerven verlaufen (vgl. Fig. 37, p. 71). Der Sympathicus unterscheidet sich leicht vom Vagus durch sein mattes, weißgraues Aussehen und seine etwas geringere Dicke (Vagus dicker und silberweiß glänzend), vom Depressor durch seine größere Dicke (Depressor ein äußerst dünnes, weißes Fädchen). Hat man den Sympathicus gefunden, so präpariert man ihn auf etwa 2 cm weit mit einem stumpfen Instrument frei, schlingt ihn möglichst weit nach unten, d. h. nach dem Thorax hin mit einem Faden fest an, trennt ihn unterhalb der Anschlingungsstelle durch, indem man das überflüssige Fadenende abschneidet, und bettet ihn zunächst, um das Vertrocknen des dünnen Nerven zu verhindern, wieder in das umgebende Gewebe ein. Ist das geschehen, so nimmt man den Kopf des Kaninchens aus dem Kopfhalter heraus und wendet ihn so, daß man beide Ohren im durchscheinenden Lichte vergleichen kann. Man findet, daß die Blutgefäße in dem Ohre der operierten Seite beträchtlich erweitert sind, so daß selbst die kleinsten Gefäße deutlich hervortreten und das Ohr intensiv gerötet und stark erwärmt erscheint, während das Ohr der anderen

Seite enge Gefäße zeigt und infolgedessen bedeutend blasser und verhältnismäßig kühl ist. Der Unterschied ist sehr auffallend und zeigt, daß der Sympathicus Fasern enthält, die andauernd eine tonische Erregung vom Vasokonstriktorenzentrum zu den Gefäßmuskeln übertragen. Nunmehr reizt man das obere Ende des durchschnittenen Sympathicus mit einem faradischen Strom, indem man es am Faden hochhebt und über die Platinelektroden des sekundären Stromkreises legt. Zugleich läßt man sich das Ohr der betreffenden Seite gegen das Licht halten, so daß die Gefäße gut zu sehen sind. Einige Sekunden nach Beginn der Reizung fangen die stark erweiterten

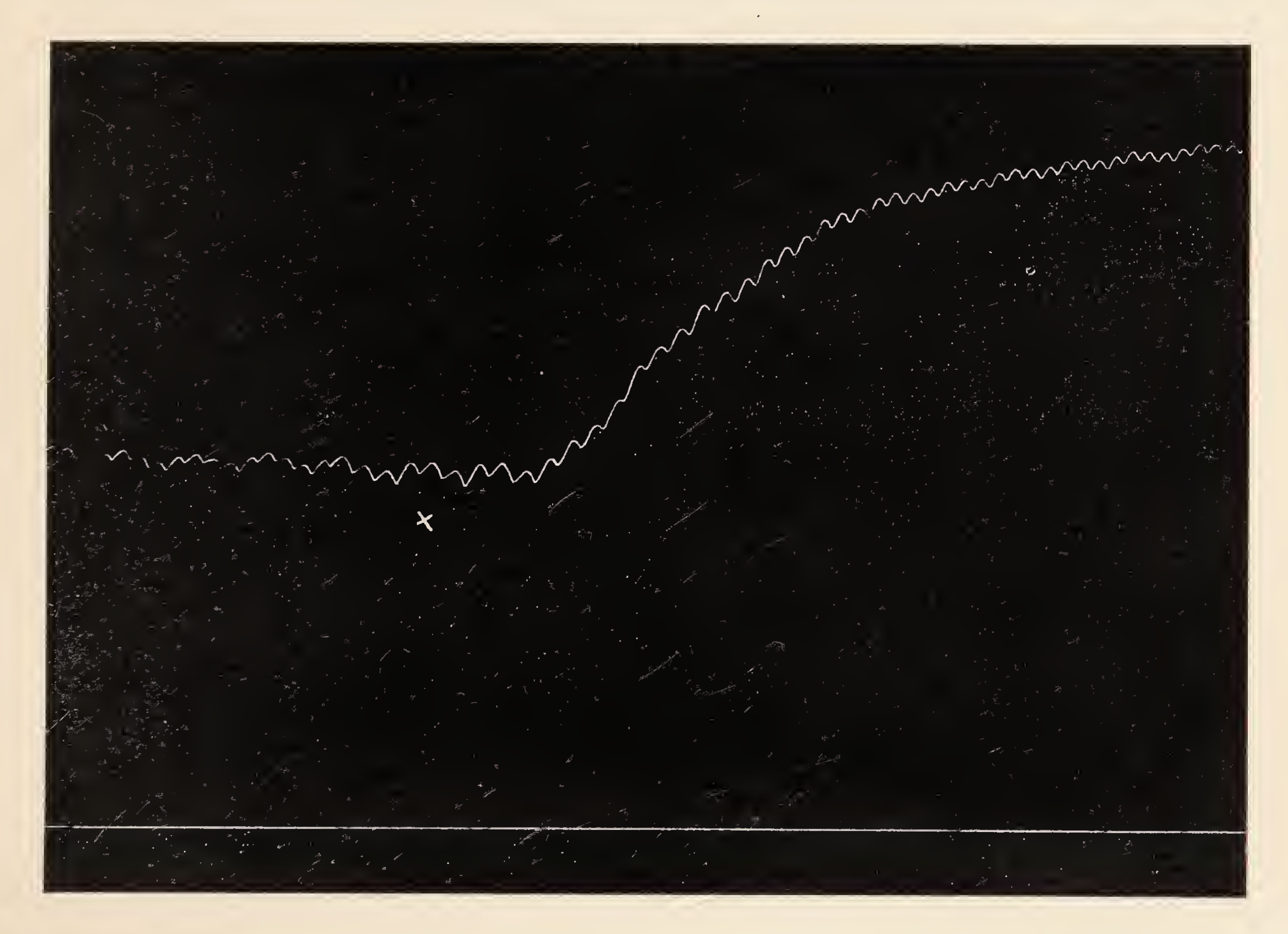


Fig. 60. Blutdrucksteigerung durch Injektion von Nebennierenextrakt am Kaninchen. Bei × erfolgt die intravenöse Injektion des Nebennierenextraktes.

Gefäße an, sich zu verengern und bald kontrahieren sie sich so, daß die kleineren Gefäße überhaupt blutleer werden, und das ganze Ohr vollkommen erblaßt. Hört man mit der Reizung auf, so beginnen die Gefäße allmählich sich wieder zu füllen und die starke Hyperämie, die nach der Durchschneidung entstanden war, stellt sich wieder her. Erneute Reizung bringt die Gefäße wieder zur Kontraktion usf. Der Versuch kann öfter wiederholt werden.

Nach Schluß des Versuches wird der Faden vom Sympathicus abgeschnitten, der Nerv wieder in die Wunde gelegt und die Hautwunde mit einigen Stichen zugenäht. Das Tier bleibt am Leben.

V. Harn.

Wird das gasförmige Endprodukt des Stoffwechsels, die CO_2 durch die Lungen in die Exspirationsluft ausgeschieden, so werden die gelösten Stoffwechselprodukte fast ausschließlich von den Nieren mit dem Harn sezerniert. Nur ein geringer Teil der löslichen Stoffwechselprodukte wird durch den Schweiß von der Haut und durch die Faeces vom Darmtraktus abgegeben. So enthält der Harn die Hauptmasse aller der Stoffe, welche Lymphe und Blut als Dissimilationsprodukte der lebendigen Substanz aus den Zellen der verschiedenen Organe herausspülen. An das Blut abgegeben, zirkulieren diese Stoffe zunächst im Körper, werden aber andauernd von den Nieren aus dem Blute herausgenommen und mit dem Harn ausgeschieden. Das geschieht entweder direkt oder erst auf Umwegen, nachdem die Stoffwechselprodukte, wie sie an das Blut abgegeben worden sind, besonders in den Zellen der Leber noch synthetische Umsetzungen in verhältnismäßig ungiftige Formen erfahren haben (vgl. p. 91). Viele der spezifischen Stoffe des Harns werden nicht direkt als solche von den Zellen des Körpers ausgeschieden, sondern erst in der Leber gebildet: so z. B. ein großer Teil des Harnstoffes aus kohlensaurem Ammon, ein Teil der Harnsäure wenigstens bei den Vögeln aus milchsaurem Ammon, so ferner die gepaarten Schwefelsäuren aus der von der Oxydation des Eiweißschwefels herrührenden H_2SO_4 und aus den aromatischen Produkten der Eiweißzersetzung im Darm. Die Hippursäure der Pflanzenfresser dagegen wird erst in der Niere aus Benzoësäure und Glykokoll hergestellt.

Die Ausscheidung der Harnbestandteile aus dem Blut seitens der Nieren geschieht durch einen aktiven Sekretionsprozeß, der wie alle Sekretionsvorgänge auf dem Stoffwechselchemismus der Zellen beruht. Dabei sind die Epithelzellen der Glomeruli und der Harnkanälchen der Sitz der sekretorischen Tätigkeit, aber mit einer gewissen Arbeitsteilung insofern, als die Zellen der Harnkanälchen die gelösten Harnbestandteile ausscheiden, während die Zellen der Glomeruli das Harnwasser sezernieren, das, indem es allmählich von den Glomeruli aus durch die Harnkanälchen herabrieselt, die spezifischen Harnbestandteile aus den letzteren herausspült. Zerstört man an der Niere eines Tieres lokal eine Rindenpartie mit ihren Glomerulis, so werden die von den Harnkanälchen abwärts dieser Partie sezernierten Harnbestandteile, wie man an intravenös injiziertem Indigofarbstoff als Indikator sehen kann, nicht herausgespült und bleiben in den Harnkanälchen liegen. In der normalen Niere dagegen sammelt sich schließlich das Harnwasser mit den herausgespülten Harnbestandteilen, indem es aus den gewundenen, durch die geraden Harnkanälchen in die Sammelröhren fließt, im Nierenbecken, von wo aus der Harn teils durch den Sekretionsdruck selbst, teils durch die Peristaltik der Ureteren durch die letzteren hindurch nach der Blase transportiert wird.

Die Blase ist verschlossen durch den sehr starken Tonus der Sphinkterenmuskeln. Bei einem gewissen Füllungszustande der Blase macht sich der Harndrang bemerkbar. Ein bestimmter Füllungszustand der Blase führt bei neugeborenen Kindern und Tieren reflektorisch auf dem Wege durch das Lendenmark zur Blasenentleerung, ein Akt, der beim erwachsenen Menschen willkürlich von der Großhirnrinde her beherrscht werden kann und der darin besteht, daß der Tonus der Sphink-

teren gehemmt wird, so daß die Kontraktion des Detrusor den Harn durch die Urethra herauspressen kann.

A. Eigenschaften des Harns.

Theoretische Vorbemerkungen. Der Harn der Fleischfresser und Pflanzenfresser unterscheidet sich äußerlich gewöhnlich dadurch, daß der erstere klar, der letztere trüb ist. Das beruht auf der chemischen Reaktion. Der Harn der Fleischfresser und des Menschen ist unter normalen Verhältnissen sauer von saurem phosphorsaurem Natron (nicht von Harnsäure!), der Harn der Pflanzenfresser ist bei frischer Pflanzennahrung alkalisch von kohlensauren Alkalien, die aus der Oxydation der mit der Pflanzenahrung aufgenommenen pflanzensauren Alkalien (besonders der oxalsauren Alkalien) hervorgehen und durch den Harn ausgeschieden werden. Infolge der alkalischen Reaktion sind die kohlensauren und phosphorsauren Erden in Niederschlägen vorhanden und trüben den Harn. Versetzt man den trüben alkalischen Harn eines Pflanzenfressers mit etwas Essigsäure, so braust er auf und wird klar. Auch der Harn des Menschen kann unter Umständen gelegentlich alkalisch und trübe erscheinen und zwar 1. wenn der Mensch wie ein Pflanzenfresser lebt (manche Vegetarier), 2. wenn jemand größere Mengen von kohlensaurem Natron zu sich nimmt, 3. unter pathologischen Verhältnissen bei Blasenkatarrh, wenn die bakterielle Spaltung des Harnstoffs in Kohlensäure und Ammoniak durch Einschleppung des Bacterium ureae innerhalb der Blase erfolgt. Umgekehrt kann der Harn der Pflanzenfresser gelegentlich sauer und klar sein und zwar 1. wenn der Pflanzenfresser zum Fleischfresser wird, d. h. im Hunger, wo er von seiner eigenen Körpersubstanz lebt, 2. bei trockener Pflanzennahrung (Hafer usw.), die arm ist an pflanzensauren Alkalien.

Die Farbe des klaren sauren Menschenharns ist strohgelb bis braunrot, je nach der Menge des darin enthaltenen Harnfarbstoffs. Konzentrierter Harn, wie er in heißen, trockenen Klimaten gelassen wird, wo die der Harnsekretion antagonistische Schweißabsonderung die Hauptmasse des Wassers aus dem Körper entfernt, ist dunkler als stark verdünnter Harn bei reichlicher Harnausscheidung. Die Menge des täglich vom Menschen gelassenen Harns beträgt 1—1,5 Liter. Das spezifische Gewicht des menschlichen Harns schwankt unter normalen Verhältnissen je nach der Konzentration zwischen den Grenzen 1,002 und 1,040. Unter pathologischen Verhältnissen (Diabetes) kann das spezifische Gewicht bis 1,060 steigen. Der Geruch des Harns ist aromatisch. Nach Genuß bestimmter Stoffe, wie Terpentin (Veilchengeruch), Spargel, Hammelfleisch usw., nimmt er einen spezifischen Geruch an. Der Geschmack ist salzig bitter. Steht der klar gelassene Harn, bis er erkaltet ist, ruhig, so scheidet sich ein feines Wölkchen, die „Nubecula", aus, das sich allmählich senkt. Die Nubecula besteht aus Blasenschleim. Steht der Harn lange Zeit, so wird seine Reaktion allmählich alkalisch und trübe, weil der Harnstoff durch das Bacterium ureae in Ammoniak und Kohlensäure gespalten wird. Das dabei frei werdende Ammoniak liefert den spezifischen Geruch unreinlich gehaltener Bedürfnisanstalten.

Reaktion des Harns. Frisch gelassener Menschenharn und Pferdeharn (von einem mit Grünfutter gefütterten Pferde) werden in

je ein kleines Becherglas getan. Der erstere ist klar, der letztere ist trübe und sedimentiert. Die Reaktion beider wird mit Lackmuspapier geprüft; die des ersteren ist sauer, die des letzteren ist alkalisch. Sodann wird zu dem Pferdeharn etwas Essigsäure zugesetzt. Der Harn braust auf und erscheint, wenn die Reaktion nach dem Umrühren sauer geworden ist, klar wie der Fleischfresser- und Menschenharn.

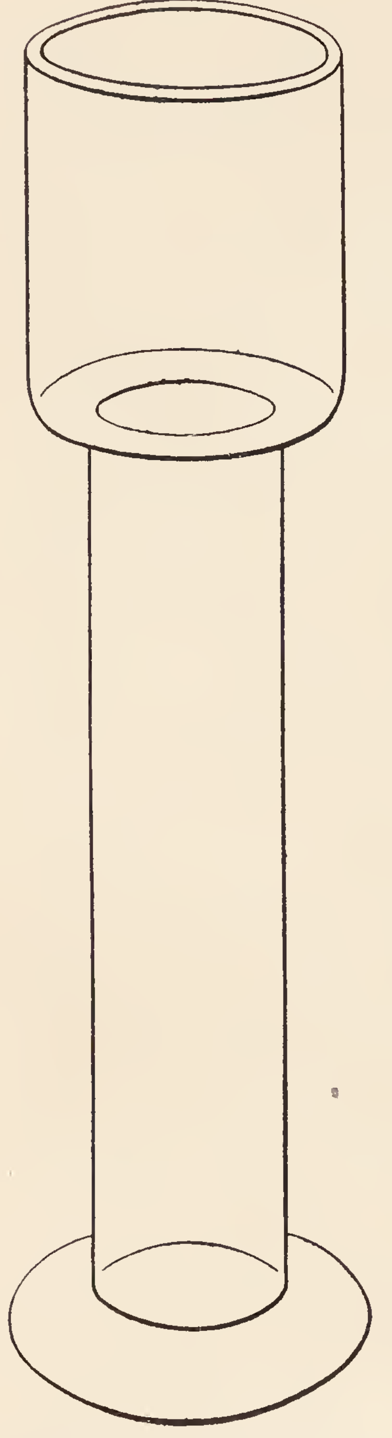


Fig. 61. Glaszylinder für die Bestimmung des spezifischen Gewichtes des Harns.

Nubecula. Der frisch gelassene Menschenharn bleibt in einem reinen Becherglase ruhig stehen, bis er vollständig erkaltet ist. Es scheidet sich ein feines Schleimwölkchen aus, das sich langsam zu Boden senkt.

Spezifisches Gewicht des Harns. Der erkaltete Harn wird durchfiltriert. Ein Glaszylinder (Fig. 61) wird erst mit einem Teil des filtrierten Harns ausgespült und dann mit dem übrigen filtrierten Harn bis etwa zu zwei Dritteln gefüllt. Alsdann wird ein auf die Grenzen von etwa 1,002—1,060 geaichtes Aräometer (Fig. 62) — für den vorliegenden Zweck als „Urometer" bezeichnet — eingesenkt. Sobald es sich eingestellt hat, wird an der Urometerskala der Teilstrich abgelesen, an dem die Oberfläche des Harns steht. Dieser gibt das spezifische Gewicht des Harns an.

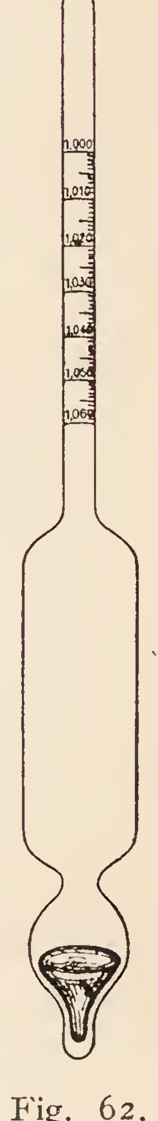


Fig. 62. Urometer.

B. Bestandteile des normalen Harns.

Theoretische Vorbemerkungen. Der Harn führt organische und anorganische Endprodukte des Stoffwechsels aus dem Körper aus. Unter den organischen unterscheiden sich die stickstoffhaltigen von den stickstoffreien Stoffen. Die stickstoffhaltigen Endprodukte des Stoffwechsels liefern ein Maß für den Eiweißzerfall im Körper. Daher ist für alle Stoffwechseluntersuchungen die quantitative Bestimmung des Harnstickstoffs sehr wichtig. Sie geschieht mittels der Kjeldahlschen Methode, die darauf beruht, daß aller im Harn enthaltene Stickstoff durch Oxydation des Harns mit H_2SO_4 in Ammoniumsulfat $(NH_4)_2SO_4$ übergeführt werden kann. Aus dem $(NH_4)_2SO_4$ spaltet man durch Überneutralisieren der Flüssigkeit mit NaHO das NH_3 ab und treibt es durch

Destillation in eine mit einer abgemessenen Menge von H_2SO_4 beschickte Vorlage, in der dann durch Titration die nicht zur Bildung von $(NH_4)_2SO_4$ verbrauchte Menge von H_2SO_4 ermittelt und so die Menge des NH_3 und damit des Stickstoffs berechnet werden kann.

Die wesentlichen Bestandteile des Harns sind:

Organische Verbindungen:

- Stickstoffhaltige
  - Harnstoff
  - Purinkörper: Harnsäure
    - Nukleinbasen (Xanthin, Hypoxanthin oder Sarkin, Adenin, Guanin)
  - Hippursäure (viel im Pflanzenfresser-, wenig oder gar nicht im Menschenharn)
  - Kreatinin
  - Harnfarbstoffe: Urochrom
    - Urobilinogen
  - Stickstoffhaltige aromatische Schwefelsäuren:
    - Indoxylschwefelsaures Kali (Indikan)
    - Skatoxylschwefelsaures Kali
- Stickstofffreie
  - Stickstofffreie aromatische Säuren:
    - Aromatische Schwefessäuren (Phenolschwefelsaures Kali, Kresolschwefelsaures Kali)
    - Aromatische Oxysäuren (Paraoxyphenylessigsäure, Paraoxyphenylpropionsäure)
  - Säuren der aliphatischen Gruppe:
    - Oxalsäure
    - Bernsteinsäure
    - Glykuronsäure

Anorganische Verbindungen:

Chloride, Phosphate, Sulfate } des Na, K, Mg und NH_3

Einzelne von diesen Verbindungen können je nach den Nahrungsverhältnissen ganz fehlen, wie z. B. Adenin, Guanin, Hippursäure, skatoxylschwefelsaures Kali, Bernsteinsäure usw. Bei Pflanzenfressern sind die aromatischen Verbindungen in größerer Menge im Harn. Unter pathologischen Verhältnissen können beim Menschen auch noch andere Stoffe im Harn erscheinen, die wichtig sind für die Diagnose der Krankheit: Eiweiß (Nephritis), Zucker und Aceton (Diabetes), aromatische Oxyglykolsäure und Brenztraubensäure (akute Leberatrophie, Phosphorvergiftung).

1. Harnstoff.

Theoretische Vorbemerkungen. Harnstoff (Carbamid) $(NH_2)_2CO$ ist das erste organische Produkt des Tierkörpers, welches von Wöhler im Jahre 1828 künstlich hergestellt wurde und zwar aus cyansaurem Ammon $CN \cdot O \cdot NH_4$, mit dem es isomer ist. Durch Erhitzen auf über 60^0 geht das cyansaure Ammon von selbst unter Umlagerung der Atome in Harnstoff über:

$$N{\equiv}C{-}O{-}N{\lt}^{H}_{H}{}^{H}_{H} \quad = \quad O{=}C{\lt}^{N{\lt}^{H}_{H}}_{N{\lt}^{H}_{H}}$$

cyansaures Ammon — Harnstoff

Im Tierkörper entsteht der Harnstoff zum großen Teil in der Leber aus kohlensaurem Ammon unter Austritt von 2 Molekülen Wasser wie

Durchspülungsversuche der Leber mit kohlensaurem Ammon gezeigt haben:

$$\underset{\text{kohlensaures Ammon}}{(NH_4)_2CO_3} = \underset{\text{Harnstoff}}{(NH_2)_2CO} + \underset{\text{Wasser}}{2\,H_2O}$$

Umgekehrt wird der Harnstoff bei der sogenannten Harngärung durch die Tätigkeit des Bacterium ureae, wenn der Harn längere Zeit an der Luft steht und fault, unter Wasseraufnahme in Kohlensäure und Ammoniak gespalten:

$$\underset{\text{Harnstoff}}{(NH_2)_2CO} + \underset{\text{Wasser}}{2\,H_2O} = \underset{\text{kohlensaures Ammon}}{(NH_4)_2CO_3} = \underset{\text{Ammoniak}}{2\,NH_3} + \underset{\text{Kohlensäure}}{CO_2} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O}$$

Aus dem Harn gewinnt man den Harnstoff durch Eindampfen und Zusatz von HNO_3. Dabei bildet sich salpetersaurer Harnstoff $CO(NH_2)_2NO_3H$. Bei Behandlung mit Barytwasser $Ba(OH)_2$ liefert dieser salpetersauren Baryt $Ba(NO_3)_2$ und Harnstoff $(NH_2)_2CO$. Der Harnstoff wird dann in Alkohol aufgenommen, in dem der salpetersaure Baryt unlöslich ist, und umkristallisiert. Er bildet klare weiße Kristallnadeln, die sich in Wasser leicht, in Alkohol etwas weniger, in Äther gar nicht lösen. Die Salze des Harnstoffs, wie salpetersaurer und oxalsaurer Harnstoff, sind schwerer löslich in Wasser als der Harnstoff selbst. Durch Erhitzen über den Schmelzpunkt geht der trockene Harnstoff in Biuret über (siehe p. 4) und durch weiteres Erhitzen in schwer lösliche Cyanursäure. Durch Erhitzen mit NaHO wird der Harnstoff in Ammoniak und Kohlensäure gespalten und es bildet sich kohlensaures Natron:

$$\underset{\text{Harnstoff}}{(NH_2)_2CO} + \underset{\text{Natronlauge}}{2\,NaHO} = \underset{\text{Ammoniak}}{2NH_3} + \underset{\text{kohlensaures Natron}}{Na_2CO_3}$$

Zum quantitativen Nachweis von Harnstoff dient die KNOP-HÜFNERsche Methode, bei der im verdünnten Harn der Harnstoff mit Bromnatronlauge gespalten wird, so daß Kohlensäure, Stickstoff, Wasser und Bromnatrium entsteht:

$$\underset{\text{Harnstoff}}{(NH_2)_2CO} + \underset{\text{Bromnatronlauge}}{3\,NaBrO} = \underset{\text{Kohlensäure}}{CO_2} + \underset{\text{Stickstoff}}{N_2} + \underset{\text{Wasser}}{2\,H_2O} + \underset{\text{Bromnatrium}}{3\,NaBr}$$

Die CO_2 wird von der überschüssigen NaHO zu Na_2CO_3 gebunden, so daß als Gas nur N_2 frei wird. Die Menge des N_2 wird gemessen und aus ihr die Menge des Harnstoffes berechnet.

Salze des Harnstoffs. Eine reichliche Messerspitze von kristallisiertem Harnstoff wird in 5 ccm destillierten Wassers kalt im Reagenzglas gelöst. Man überzeugt sich von der leichten Löslichkeit des Harnstoffs in Wasser. Darauf wird das halbe Volumen konzentrierter HNO_3 zugesetzt. Es bildet sich salpetersaurer Harnstoff, der in Wasser schwer löslich ist und daher in Form eines weißen kristallinischen Breies ausfällt.

Derselbe Versuch wird statt mit HNO_3 mit Oxalsäure $C_2H_2O_4$ ausgeführt. Es bildet sich schwer löslicher oxalsaurer Harnstoff, der als weißes kristallinisches Pulver ausfällt.

Spaltung des Harnstoffs. Eine Messerspitze kristallisierten Harnstoffs wird in ein Reagenzglas gebracht, mit einigen Tropfen NaHO versetzt und erhitzt. Es entwickeln sich Dämpfe von Ammo-

niak, die man am Geruch erkennen kann und die rotes Lackmuspapier bläuen.

Darstellung von Biuret (siehe oben p. 4).

Quantitative Bestimmung des Harnstoffs im Harn nach Knop-Hüfner. Der Apparat von KNOP-HÜFNER (Fig. 63) besteht aus einem Glasgefäß mit Stativ, das durch einen dicht schließenden Glashahn in zwei Teile abgeteilt ist. Der untere Teil *A*, dessen Volumen genau bekannt ist (20 ccm), wird durch einen langen Trichter *Tr* von oben her mit Harn gefüllt, der mit dem acht- bis zehnfachen Volumen Wasser verdünnt ist. Darauf wird der Hahn geschlossen und der obere Teil mit destilliertem Wasser sorgfältig ausgespült. Dann wird der obere Teil *B* bis zum Ende der Röhre mit Bromnatronlauge gefüllt, die zusammengesetzt ist aus einer Lösung von 100 g Ätznatron in 250 ccm destillierten Wassers, zu welcher in erkaltetem Zustande 15 ccm Brom zugesetzt sind. Das obere Ende der Röhre ist umgeben von einer abnehmbaren flachen Schale *C*, die jetzt bis über das Röhrenende hinaus mit Bromlauge gefüllt wird. Darauf wird die in 25 ccm graduierte Eudiometerröhre *D* vollständig mit Bromlauge gefüllt und mit der Öffnung mittels eines mit Bromlauge gefüllten Glaslöffels so über das Röhrenende in der Schale *C* gestülpt, daß keine Spur von Luft hinein gelangt. In dieser Stellung wird das Eudiometerrohr mittels eines Klemmstativs befestigt. Nunmehr kann der Hahn zwischen *A* und *B* vorsichtig (nicht zu schnell!) geöffnet werden, so daß sich der Harn mit der Bromlauge ganz allmählich mischt. Bei der Berührung beider Flüssigkeiten tritt eine starke Gasentwicklung ein. Die Gasblasen steigen in die Höhe, und während die entstehende CO_2 auf dem Wege durch die Lauge absorbiert wird, sammelt sich der N_2 in der Eudiometerröhre an. Unvorsichtiges Öffnen des Hahnes und zu starke Gasentwicklung kann leicht zu seitlichem Entweichen einer gewissen Stickstoffmenge führen, was natürlich die Analyse fehlerhaft macht. Allmählich wird die Gasentwicklung schwächer. Man wartet nun etwa 1/2 Stunde, bis sich

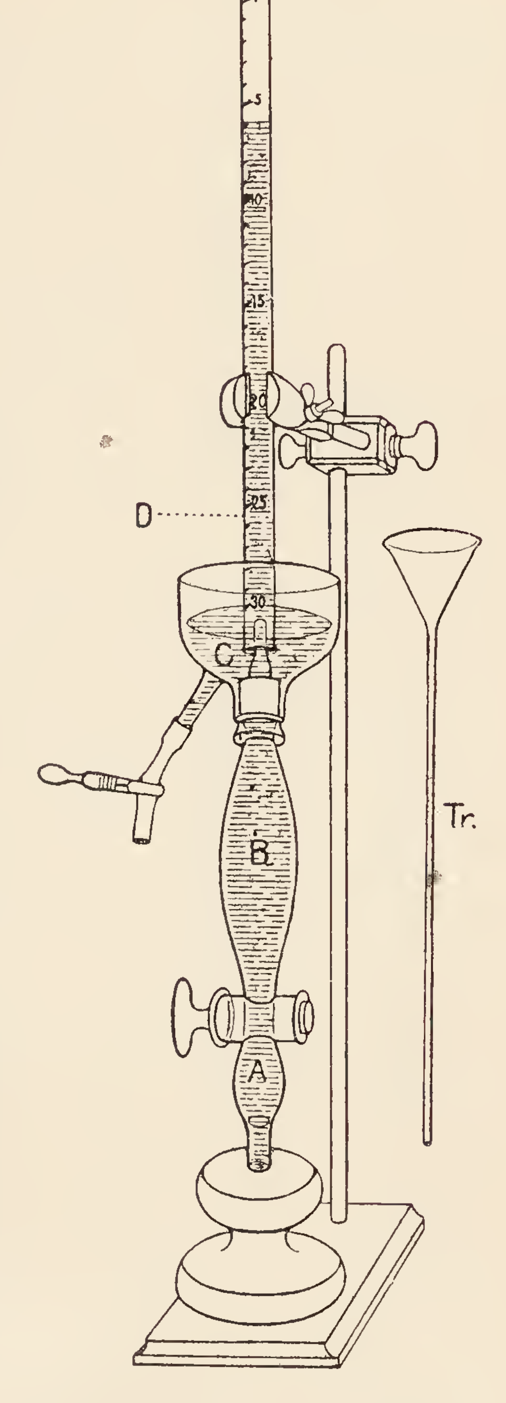


Fig. 63. KNOP-HÜFNERscher Apparat zur Bestimmung des Harnstoffs im Harn. *A* Abteilung für Harn, *B* Abteilung für Bromlauge, *C* Schale für Bromlauge, *D* graduierte Röhre.

das Niveau des Wassers in der Eudiometerröhre nicht mehr verändert und liest das gewonnene Stickstoffvolumen ab. Aus diesem Volumen läßt sich das Gewicht des Stickstoffes in Grammen und daraus die Menge des Harnstoffs berechnen.

2. Harnsäure.

Theoretische Vorbemerkungen. Die Harnsäure $C_5H_4N_4O_3$ gehört, wie die Nukleïnbasen, zu den Purinkörpern, die sich sämtlich von dem Purin ableiten lassen:

```
N=====C—H                 H—N———C = O
|     |                      |     |
C—H   C—N—H                 C = O  C—N—H
‖     ‖     >C—H             |     ‖     >C = O
N———C—N                    H—N———C—N—H
    Purin                        Harnsäure
```

Die Harnsäure ist ein Oxydationsprodukt des Purins, ein Trioxypurin. Sie entsteht im Körper des Menschen und der Säugetiere aus der Oxydation der Nukleïnbasen, stammt also aus den Zellkernen und zwar zum Teil aus den Zellkernen der organischen Nahrung (exogene Harnpurine), zum Teil aus dem Stoffwechsel der Zellkerne des Körpers (endogene Harnpurine). Bei den Vögeln dagegen, wo die Harnsäure die Rolle des Harnstoffs im Säugetierkörper spielt und die Hauptmasse der stickstoffhaltigen Endprodukte des Eiweißstoffwechsels repräsentiert, wird ein großer Teil von ihr in der Leber synthetisch aus Milchsäure und Ammoniak hergestellt. Die Harnsäure ist im Harn enthalten, teils in freiem Zustande, teils in Form von harnsauren Salzen. Die freie Harnsäure ist im Harn meist in größerer Menge gelöst als ihrer Löslichkeit im Wasser entspricht (übersättigte Lösung), eine Erscheinung, die durch die kolloidalen Substanzen des Harns (Harnfarbstoffe) bedingt ist. Die Bildung von harnsauren Salzen beruht darauf, daß zwei H-Atome der Harnsäure durch Basen ersetzt werden können. Die Harnsäure zeigt also die Eigenschaften einer zweibasischen Säure. Die beiden wichtigsten Urate des Harns sind das saure harnsaure Natron und das saure harnsaure Ammon. Beide können als Sedimente im Harn vorkommen. Das saure harnsaure Natron ist leichter löslich in warmem als in kaltem Wasser. Wenn daher der Harn mit ihm gesättigt ist, so fällt es beim Erkalten des frischen Harns (besonders im Winter) in Form des mit Harnfarbstoff rötlich gefärbten sogenannten Ziegelmehlsediments (Sedimentum lateritium) aus. Dieses ist leicht zu erkennen, da es beim Erwärmen wieder verschwindet. Das saure harnsaure Ammon ist ebenfalls schwer löslich in kaltem Harn und fällt häufig aus als Sediment in Form von stechapfel-, morgenstern- oder kugelförmigen Sphäriten, wenn der Harn durch Harnstoffgärung ammoniakalisch wird. Den qualitativen Nachweis der Harnsäure, wie er namentlich für die Erkennung der Natur von Harnsteinen klinisch wichtig ist, führt man mit der Murexidprobe, indem man durch Erhitzen der Harnsäure mit Salpetersäure und Zusatz von Ammoniak purpursaures Ammon = Murexid $C_8H_4(NH_4)N_5O_6 + H_2O$ herstellt, das durch seine prachtvolle Purpurfarbe charakterisiert ist. Wichtig ist schließlich die reduzierende Wirkung der Harnsäure auf Metalloxyde, die unter Umständen im Harn bei Zuckerproben Anlaß zu Täuschungen geben kann.

Murexidprobe. 1. Im Porzellanschälchen. Eine Messerspitze voll gepulverter Harnsäure wird auf einem flachen Porzellanschälchen mit wenigen Tropfen konzentrierter Salpetersäure erhitzt. Unter Aufbrausen und starker Entwicklung brauner Dämpfe löst sich das Pulver und gibt nach der Verdampfung der Flüssigkeit eine orangerote Farbe. Bei Zusatz von einem Tropfen Ammoniak entsteht eine tief purpurrote Färbung, die bei Zusatz von Kali- oder Natronlauge in eine blaue Färbung übergeht. Das ist die gewöhnliche Methode, die Probe anzustellen. Zweckmäßiger führt man, wenn eine genügende Menge Harnsäure zur Verfügung steht, die Probe aus 2. im Reagenzglas. Eine gute Messerspitze voll gepulverter Harnsäure wird in einem trockenen Reagenzglase mit einigen Tropfen konzentrierter Salpetersäure (eine reichliche Reagenzglaskuppe voll HNO_3 genügt) erhitzt. Sobald die Flüssigkeit klar geworden ist, setzt man vorsichtig (!) tropfenweise, aber nicht zu langsam unter Umschütteln Ammoniak zu, bis die Flüssigkeit überneutralisiert ist. Ist das der Fall, so bleibt die bei Ammoniakzusatz auftretende purpurrote Färbung in der ganzen Flüssigkeit bestehen. Nunmehr muß die Flüssigkeit sehr schnell (!) unter der Wasserleitung abgekühlt werden, denn in der Hitze zersetzt sich das eben entstandene purpursaure Ammon sehr schnell. Ist die Flüssigkeit genügend abgekühlt, so gibt man die Hälfte davon in ein zweites trockenes Reagenzglas und setzt reichlich Kali- oder Natronlauge hinzu. Die Purpurfarbe geht in eine blaue Farbe über. Man vergleicht beide Farbenproben miteinander. In dieser Form hat die Probe den Vorteil größerer Beständigkeit und Sauberkeit und vermeidet die starke Verbreitung von Salpetersäure- resp. Untersalpetersäuredämpfen im Zimmer.

Reduzierende Wirkung der Harnsäure. Eine Messerspitze voll Harnsäure wird in 5 ccm destillierten Wassers gebracht und mit einigen Tropfen Ammoniak und einigen Tropfen Silbernitratlösung versetzt. Es entsteht ein schwarzer Niederschlag resp. beim Erwärmen an der Wand des Reagenzglases ein glänzender Spiegel von metallischem Silber.

Darstellung von saurem harnsaurem Natron. Eine reichliche Messerspitze voll Harnsäure wird in ca. 20—30 ccm destillierten Wassers in ein Reagenzglas gebracht und dann wird ganz vorsichtig (!) mit einem Glasstab tropfenweise NaHO zugesetzt unter jedesmaligem gründlichem Umschütteln nach jedem Tropfen, bis die Lösung nach dem Umschütteln klar ist. (Massen von feinsten Luftbläschen können dabei eine Trübung vortäuschen, während bereits die Harnsäure völlig gelöst ist). Darauf wird stark verdünnte Essigsäure äußerst vorsichtig tropfenweise (!) mit einem zweiten

Glasstab zugefügt, so daß wiederum nach jedem Tropfen gründlich umgeschüttelt wird, bis beim Umschütteln der weiße Niederschlag von saurem harnsaurem Natron, welcher entsteht, nicht mehr verschwindet. Die Reaktion wird mit Lackmuspapier geprüft und darf nur amphoter sein, nicht sauer. Darauf wird die Flüssigkeit erwärmt. Man überzeugt sich, daß der weiße Niederschlag in der Wärme verschwindet. Kühlt man die klare Flüssigkeit unter der Wasserleitung ab, so kehrt er vom Boden des Reagenzglases her wieder. Das ist das Verhalten des sauren harnsauren Natrons, wenn es als Sedimentum lateritium mit Harnfarbstoff rötlich gefärbt im erkalteten Harn ausfällt. Abwechselndes Erwärmen und Abkühlen bringt den Niederschlag abwechselnd zur Lösung und zum Ausfallen. Für die Neutralisierung der alkalischen Lösung darf nur eine sehr geringe Menge Essigsäure verwendet werden. Wird zu stark überneutralisiert, so löst sich der entstandene Niederschlag nicht wieder beim Erwärmen.

3. Hippursäure.

Theoretische Vorbemerkungen. Die Hippursäure $C_6H_5 \cdot CO \cdot NH \cdot CH_2 \cdot COOH$ kommt besonders im Harn der Pflanzenfresser vor, in geringen Mengen im Harn des Menschen. Sie wird synthetisch gebildet in der Niere aus Benzoësäure, die aus der Kutikularsubstanz der Pflanzenzellen stammt und Glykokoll (Aminoessigsäure), das in jedem Tierkörper vorhanden ist und z. B. aus dem Kollagen des Bindegewebes entstehen kann. Wird eine überlebende Niere des Hundes, der sonst keine Hippursäure im Harn ausscheidet, mit Blut durchspült, das mit Benzoësäure und Glykokoll versetzt ist, so bildet die Niere daraus Hippursäure, indem sich die Benzoësäure unter Austritt eines OH aus der COOH-Gruppe und das Glykokoll unter Austritt eines H aus der NH_2-Gruppe durch die freigewordene Valenz miteinander verkoppeln.

$$\underset{\text{Benzoësäure}}{C_6H_5 \cdot COOH} \quad + \quad \underset{\text{Glykokoll}}{NH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH}$$

```
           H
           |
   H       C          C//O       +    H\          /H    O
    \C//\C/            \O—H             >N—C—H   //
      |   ||            ‿‿‿‿‿‿‿‿‿‿‿‿   H/      \C
     C\\ /C                                      \O—H
    /   C   \
   H    |    H
        H
```

$$= \underbrace{C_6H_5 \cdot CO — NH \cdot CH_2 \cdot COOH}_{\text{Hippursäure}} \quad + \quad \underset{\text{Wasser}}{H_2O}$$

```
          H
          |            O
   H      C        C//     H
    \              \     /          H
  = \C//\C/          N         /           + H—O—H
      |   ||           \C—H   O
     C\    C              \C//
    /   \\/                  \O—H
   H     C
         |
         H
```

Dieses Prinzip der Verkoppelung von zwei Verbindungen durch Austritt eines OH und eines H unter H_2O-Bildung spielt eine wichtige Rolle bei den verschiedensten Synthesen, Polymerisationen usw. und ist daher sehr wichtig.

Spaltung der Hippursäure. Eine Messerspitze voll Hippursäure wird in einem trockenen (!) Reagenzglas erhitzt. Die Hippursäure schmilzt bei 187° und zersetzt sich bei weiterem Erhitzen in einen vom Glykokoll stammenden roten Rückstand unter Entwickelung von Dämpfen, die sich im oberen Teil des Reagenzglases in Form eines Sublimates von Benzoësäure $C_6H_5 \cdot COOH$, Cyanbenzol (Benzonitril) $C_6H_5 \cdot CN$ und Blausäure HCN niederschlagen und an ihrem Bittermandelgeruch kenntlich sind. Geruch vorsichtig prüfen!

4. Kreatinin.

Theoretische Vorbemerkungen. Das Kreatinin $C_4H_7N_3O$ ist das Anhydrid des Kreatins $C_4H_9N_3O_2$, das als ein Stoffwechselprodukt der Muskeln in größerer Menge in den Muskeln enthalten ist, aber nur in geringer Menge in Form von Kreatinin täglich durch den Harn ausgeschieden wird. Es ist daher nicht unwahrscheinlich, daß ein Teil des Kreatins der Muskeln zur Bildung anderer Stoffe verwendet wird, wobei in erster Linie an Harnstoff zu denken wäre, da das Kreatin als ein substituiertes Guanidin CN_3H_5 angesehen werden kann, aus dem in der Tat Harnstoff entstehen kann.

Harnstoff	Guanidin	Kreatin	Kreatinin
$C\begin{matrix} \diagup NH_2 \\ = O \\ \diagdown NH_2 \end{matrix}$	$C\begin{matrix} \diagup NH_2 \\ = NH \\ \diagdown NH_2 \end{matrix}$	$C\begin{matrix} \diagup NH_2 \\ = NH \\ \diagdown N \cdot CH_3 \cdot CH_2 \cdot COOH \end{matrix}$	$C\begin{matrix} \diagup NH —— CO \\ = NH \quad\quad \vert \\ \diagdown N \cdot CH_3 \cdot CH_2 \end{matrix}$

Man kann im Harn das Kreatinin am einfachsten nachweisen durch

Die Jafféscheche Kreatininreaktion. 5 ccm Harn werden in einem Reagenzglase mit einigen Tropfen wässeriger Pikrinsäurelösung und darauf mit einigen Tropfen NaHO-Lösung versetzt. Es entsteht je nach der Menge von Kreatinin, die im Harn enthalten ist, eine hellrote bis tiefrote klare Färbung.

5. Harnfarbstoffe.

Theoretische Vorbemerkungen. Der Hauptfarbstoff des Menschenharns ist das Urochrom. Daneben erscheint das Urobilinogen im frischen Harn, das unter Einwirkung des Lichtes in Urobilin übergeht. Beide Farbstoffe stammen aus dem Blutfarbstoff, dem Hämoglobin, wahrscheinlich auf dem Wege über den Gallenfarbstoff, das Bilirubin. Sie sind ihrem stereo-chemischen Bau nach noch nicht näher bekannt. Je nach der Menge der Harnfarbstoffe ist der Harn blaßgelb bis braunrot. Wenn die Farbstoffe in größerer Menge im Harn enthalten sind („hochgestellter" Harn), können sie einen positiven Ausfall der Biuretprobe geben und dadurch unter Umständen Eiweiß im Harn vortäuschen.

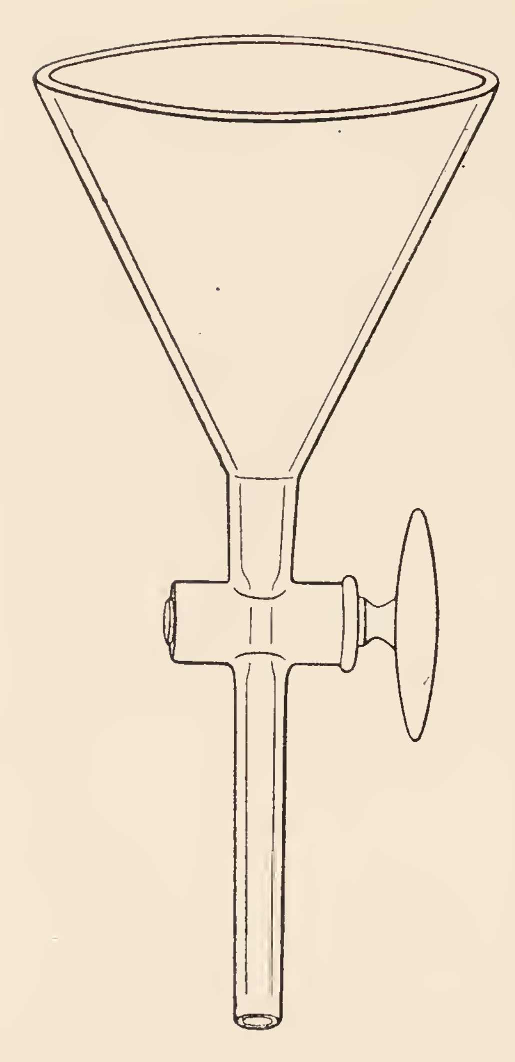


Fig. 64. Scheidetrichter.

Extraktion der Harnfarbstoffe durch Phenol. 50—100 ccm möglichst dunkel gefärbten Harns werden in einem Becherglase mit Ammonsulfat (in Substanz) gesättigt. Diese Flüssigkeit wird mit etwa 10—20 ccm 90proz. Phenols gut durchgeschüttelt. Das Phenol nimmt die Harnfarbstoffe auf. Nunmehr bringt man die ganze Masse in einen Scheidetrichter (Fig. 64). Nach dem Absetzenlassen (braungefärbte Phenollösung oben, farbloser Salzharn unten) trennt man den Salzharn ab, bringt von der Phenollösung etwa 10 ccm in ein Reagenzglas, fügt der Flüssigkeit 5 ccm Äther und 5 ccm destillierten Wassers hinzu und schüttelt das Gemisch gut durch. Nach dem Absetzen (Wasser unten, Ätherlösung oben) zeigt sich die wässerige Lösung gelb gefärbt von Urochrom, die Ätherlösung rot von Urobilin.

6. Aromatische Verbindungen.

Theoretische Vorbemerkungen. Im Darm, vor allem in seinen unteren Abschnitten, spielen sich umfangreiche Fäulnisprozesse ab, indem die symbiotisch im Darmtraktus lebenden Bakterien die noch nicht verdauten oder noch nicht resorbierten Nahrungsstoffe spalten. Dabei entstehen als Produkte der Eiweißfäulnis eine Reihe von aromatischen Stoffen, wie Phenol, Kresol, Indol, Skatol usw., die von den Zellen der Darmwand resorbiert und an das Blut abgegeben werden. Indem diese mit dem Blute im Körper kreisen, werden sie von der Leber aus dem Blute herausgenommen und zum größten Teil mit der aus der Oxydation des Eiweißschwefels stammenden SO_3, die ebenfalls im Blute kreist, synthetisch zu den aromatischen Schwefelsäuren (gepaarte oder Ätherschwefelsäuren) zusammengesetzt, die dann an Kalium gebunden als

Phenolschwefelsaures Kali,
Kresolschwefelsaures Kali,
Indoxylschwefelsaures Kali,
Skatoxylschwefelsaures Kali,

neben den nicht mit Schwefelsäure gepaarten aromatischen Oxysäuren, wie

Paraoxyphenylessigsäure,
Paraoxyphenylpropionsäure

durch die Nieren mit dem Harn ausgeschieden werden. Alle diese Stoffe finden sich in sehr schwankenden Mengen im Menschenharn. Sehr reichlich erscheinen sie im Harn der Pflanzenfresser (Wiederkäuer), da in dem sehr langen Darmtraktus derselben der Umfang der Fäulnisprozesse ein viel größerer ist als im kurzen Fleischfresserdarm.

Nachweis der aromatischen Verbindungen im Harn durch die Millonsche Probe. 5 ccm filtrierten Pferdeharns werden in

einem Reagensglase mit MILLONschem Reagenz (siehe p. 5) erwärmt. Es tritt eine Rosenrotfärbung der Flüssigkeit ein.

Destillation der aromatischen Verbindungen aus dem Harn. 500 ccm filtrierten Pferdeharns werden in einem ERLENMEYERschen Kolben mit 15 ccm konzentrierter H_2SO_4 versetzt. Der Kolben wird mittels eines durchbohrten Gummistopfens, der ein Knierohr trägt, mit einem Kühlrohr verbunden, durch das andauernd von der Wasserleitung her kaltes Wasser hindurchfließt und unter dessen Ende ein Gefäß zur Aufnahme des Destillats aufgestellt ist. Ist das Ganze gut zusammengesetzt (Fig. 65), so wird der ERLENMEYERsche Kolben mit dem Harn ganz allmählich und vorsichtig (!) erwärmt

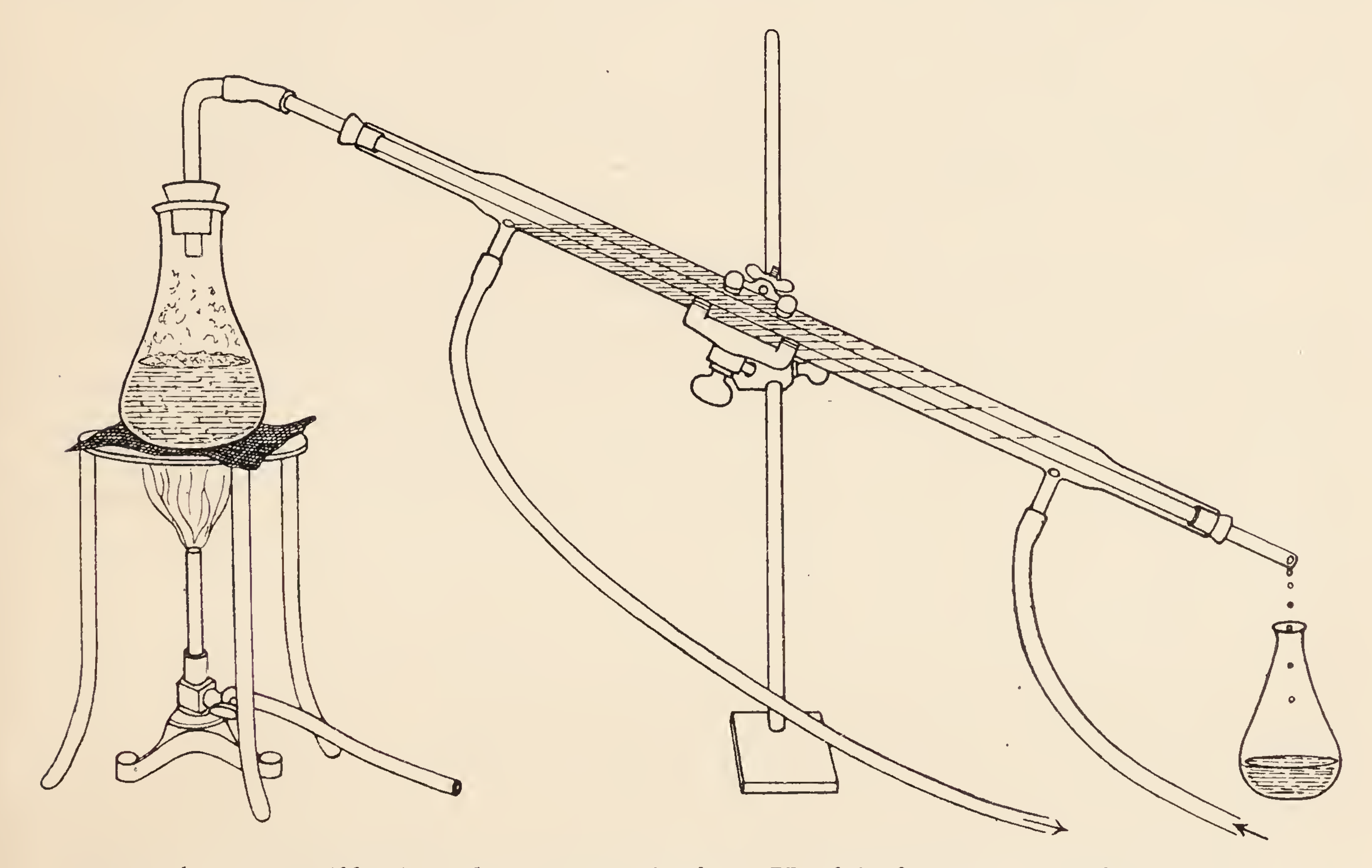


Fig. 65. Destillation der aromatischen Verbindungen aus dem Harn.

und zum Sieden gebracht. Bei unvorsichtigem Erhitzen fließt leicht etwas von der Harnmenge in die Kühlvorlage über. Während des Kochens werden die aromatischen Verbindungen zum großen Teil mit dem destillierenden Wasser übergetrieben, schlagen sich mit diesem im Kühlrohr nieder und tropfen mit ihm langsam in die Vorlage ab. Nach 50 Minuten etwa ist eine genügende Menge des klaren Destillats in der Vorlage vorhanden. Das Destillat hat den charakteristischen stark aromatischen Geruch des Pferdestalls.

Nachweis des Phenols und Kresols im Destillat. Das Phenol $C_6H_5 \cdot OH$ und das Kresol (im Harn hauptsächlich p-Kresol) $C_6H_4 \cdot CH_3 \cdot OH$ lassen sich im Destillat am einfachsten durch Zusatz einer verdünnten Eisenchloridlösung nachweisen. 5 ccm des Destillats

werden im Reagenzglase mit 1 Tropfen Eisenchloridlösung versetzt. Es tritt eine blaue Farbe auf, die bei Überwiegen des Phenols mehr ins rötliche, beim Überwiegen des Kresols mehr ins stahlblaue spielt.

Zum Vergleich wird die gleiche Probe einmal mit 5 ccm einer 0,2 proz. Phenollösung (rötlichblaue Färbung) und das andere Mal mit 5 ccm einer 0,5 proz. Kresollösung (stahlblaue Färbung) wiederholt.

Nachweis des Indikans. Das Indol C_8H_7N liefert durch Oxydation des Indoxyl C_8H_7NO, das im Indikan mit Schwefelsäure und Kali verbunden als indoxylschwefelsaures Kali $C_8H_6N \cdot O \cdot SO_3K$ erscheint. Das Indoxyl geht durch Oxydation leicht in Indigblau über:

$$\underset{\text{Indoxyl}}{2\ C_8H_7NO} + \underset{\text{Sauerstoff}}{O_2} = \underset{\text{Indigblau}}{C_{16}H_{10}N_2O_2} + \underset{\text{Wasser}}{2\ H_2O}$$

Auf der Herstellung des Indigblaufarbstoffes beruht der Nachweis des Indikans. Dieses Ziel kann auf verschiedene Weise erreicht werden.

1. JAFFÉsche Probe: 5 ccm Pferdeharn werden im Reagenzglas mit dem gleichen Volumen konzentrierter HCl gemischt. Darauf werden als Oxydationsmittel wenige Tropfen einer 5 proz. Chlorkalklösung unter Umschütteln zugesetzt und schließlich die Flüssigkeit mit ca. 5 ccm Chloroform tüchtig durchgeschüttelt. Das Chloroform nimmt das entstandene Indigblau auf und setzt sich unten im Reagenzglase blaugefärbt ab.

2. OBERMAIERsche Probe: Probe ebenso, nur wird statt des Chlorkalks ein Tropfen einer äußerst verdünnten Eisenchloridlösung $FeCl_3$ zugesetzt. Mit Chloroform ausgeschüttelt.

3. Oxydation mit Salpetersäure: Probe ebenso, nur statt des Chlorkalks oder Eisenchlorids werden 1—2 Tropfen konzentrierter HNO_3 zugefügt. Flüssigkeit mit reichlicher Chloroformmenge ausgeschüttelt.

7. Anorganische Bestandteile.

Theoretische Vorbemerkungen. Die anorganischen Salze: Chloride, Sulfate, Phosphate des Körpers werden zum Teil mit den Narungsstoffen schon als solche in den Körper eingeführt, zum Teil entstehen sie erst im Stoffwechsel. Ihre Bedeutung für den Körper liegt zum großen Teil darin, daß sie osmotisch wirksam sind. Infolgedessen bestimmen sie durch ihre Menge den Wassergehalt der Zellen, denn je mehr osmotisch wirksame Stoffe in der Zelle enthalten sind, um so mehr Wasser tritt von außen in die Zelle hinein und umgekehrt. Vom Wassergehalt der Zelle ist aber der Erregbarkeitsgrad und damit die Intensität der Stoffwechselprozesse auf das engste abhängig. Ein Muskel, dem man Wasser auf osmotischem Wege mittels Durchspülung mit einer Kochsalzlösung entzieht, zeigt eine Steigerung seiner Erregbarkeit. Ein Muskel, den man mittels Durchspülung mit destilliertem Wasser wasserreicher macht,

zeigt eine Abnahme, resp. ein völliges Erlöschen seiner Erregbarkeit. Wenn also die Menge der Salze den Wassergehalt der Zelle bestimmt, so wird der Erregbarkeitsgrad der einzelnen Zellen ganz wesentlich vom Salzgehalt des Körpers abhängig sein. Es darf sich also der Salzgehalt nicht über eine bestimmte Höhe steigern. Regulationsmechanismen sorgen dafür, daß der Salzgehalt im wesentlichen auf der gleichen Höhe bleibt und daß alle überschüssigen Salze durch die Nieren mit dem Harn ausgeschieden werden. Wir finden sie daher in wechselnder Menge im Harn.

Nachweis der Chloride. 5 ccm Menschenharn werden im Reagenzglas mit einigen Tropfen verdünnter HNO_3 versetzt. Darauf fügt man 1—2 Tropfen einer Silbernitratlösung $AgNO_3$ hinzu. Es entsteht ein weißer Niederschlag von Chlorsilber AgCl.

Nachweis der Sulfate. 5 ccm Menschenharn werden im Reagenzglase mit einigen Tropfen verdünnter HCl angesäuert. Dann fügt man 1—2 Tropfen einer Chlorbaryumlösung $BaCl_2$ hinzu. Es entsteht eine weiße Trübung von Baryumsulfat $BaSO_4$.

Nachweis der Phosphate. 1. 5 ccm Menschenharn werden im Reagenzglase mit einigen Tropfen verdünnter Essigsäure $CH_3{\cdot}COOH$ angesäuert. Dann werden einige Tropfen einer Lösung von Uranacetat $CH_3{\cdot}CO{\cdot}UrO$ hinzugesetzt. Es entsteht ein gelblichweißer Niederschlag von Uranphosphat $(UrO_2)_2HPO_4$.

2. Phosphorsaurer Kalk ist sehr schwer löslich in Wasser, und zwar schwerer in warmem als in kaltem Wasser. Ist im Harn eine genügende Menge von phosphorsaurem Kalk $Ca_3(PO_4)_2$ enthalten, so fällt beim Erwärmen im Reagenzglas phosphorsaurer Kalk im Form einer weißlichen Trübung aus. Das kann zu einer Täuschung Anlaß geben, wenn man die Kochprobe auf Eiweiß macht. Die Differentialdiagnose stellt man, indem man zu dem beim Kochen trübe gewordenen Harn einige Tropfen verdünnter Essigsäure zusetzt. Rührt die Trübung von Phosphaten, so löst sie sich auf und der Harn wird klar. Rührt sie von Eiweiß her, so bleibt sie bestehen. Es ist daher nötig, die Eiweißkochprobe am Harn immer unter Zusatz von etwas Essigsäure anzustellen.

Um sich von dem verschiedenen Löslichkeitsverhalten des Calciumphosphats in der Wärme und Kälte zu überzeugen, tut man eine reichliche Messerspitze gepulverten Calciumphosphats in eine mit Patentverschluß versehene Flasche Selterser Wasser und schließt die Flasche, ehe die aufschäumende Flüssigkeit auslaufen kann, schnell wieder zu. In kohlensäurehaltigem Wasser löst sich mehr Calciumphosphat als in reinem Wasser. Nach einem Tage öffnet man die Flasche und gießt eine Portion der Flüssigkeit, falls sie durch den

von den Kohlensäureblasen mit heraufgerissenen Bodensatz getrübt sein sollte, durch ein Filter ab. Erwärmt man von der klaren Flüssigkeit 5 ccm im Reagenzglase, so tritt eine weiße Trübung ein von ausfallendem Calciumphosphat, die sich bei Essigsäurezusatz wieder löst wie im Harn.

C. Harnsedimente.

Theoretische Vorbemerkungen. Der normale Harn mit saurer Reaktion ist im frisch gelassenen Zustande klar, ohne Sedimente. Ist der frisch gelassene Harn unter irgendwelchen Umständen alkalisch (reichliche Pflanzenkost, Einnehmen von größeren Mengen Natriumbikarbonat , so ist er trübe und kann sedimentieren. Erkaltet der frisch gelassene saure Harn, so können bei saurer Reaktion gewisse Stoffe, wenn sie in reichlicher Menge in ihm enthalten sind, in Sedimentform ausfallen. Die Sedimente, die hier vorkommen können, sind folgende:

Sedimente des sauren Harns:

1. Harnsäure $C_5H_4N_4O_3$,
2. Saures harnsaures Natron (Sedimentum lateritium) $C_5H_3N_4O_3Na$,
3. Oxalsaurer Kalk $C_2O_4Ca + H_2O$.

Steht der Harn längere Zeit, so beginnt früher oder später die Harnstoffgärung (siehe oben p. 124), und der Harn wird von dem dabei auftretenden Ammoniak alkalisch. Dabei trübt er sich, weil die Erdphosphate, die nur in saurer Reaktion löslich, in alkalischer unlöslich sind, ausfallen, und zwar zum Teil mit gleichzeitiger Bindung von Ammoniak (Magnesium-Ammoniumphosphat). Die Sedimente, die im ammoniakalischen Harn vorkommen, sind folgende:

Sedimente des ammoniakalischen Harns:

1. Saures harnsaures Ammon $C_5H_3N_4O_3(NH_3)$,
2. Phosphorsaurer Kalk $Ca_3(PO_4)_2$,
3. Ammonium-Magnesium-Phosphat (Tripelphosphat) $(NH_4)MgPO_4$.

Unter pathologischen Verhältnissen können sowohl die Sedimente des sauren als des ammoniakalischen Harns schon in der Blase ausfallen und so zur Bildung von Harn- oder Blasensteinen Anlaß geben, unter denen man die Uratsteine, die Oxalatsteine, die Phosphatsteine und die gemischten Steine unterscheidet.

Mikroskopische Untersuchung der Harnsedimente. Vor jeder mikroskopischen Untersuchung ist stets die Reaktion des Harns mit Lackmuspapier zu prüfen. Aus ihr ersieht man, welche Sedimente erwartet werden dürfen. Man nimmt eine Portion des Sediments mittels einer Kugelpipette vom Boden des Harnglases auf und bringt, indem man die obere Öffnung der Pipette nach dem Ansaugen schnell mit dem Finger verschließt, die Spitze der Pipette senkrecht über einen Objektträger, ohne die obere Öffnung zu öffnen. Dann sinken in der senkrecht gehaltenen Kugelpipette die Sedimente langsam in die Tiefe und man erhält sie in größerer Quantität angesammelt in einem einzigen Tropfen, den man mit einem großen

Deckglas bedeckt. Die einzelnen Sedimentformen haben feststehende Termini technici erhalten. 1. Harnsäure. Die Harnsäure scheidet sich am Boden oder den Wänden des Harnglases in Form von kleinen, durch die Harnfarbstoffe gelb bis rot gefärbten Kristallen und Kristalldrusen ab und kann schon mit bloßem Auge leicht erkannt werden. Unter dem Mikroskop erscheinen die Kristalle in charakteristischen „Wetzstein-", „Kamm-" oder „Bartformen", resp. deren Kristalldrusen. 2. Saures harnsaures Natron. Das saure harnsaure Natron (Sedimentum lateritium) tritt als ziegelmehlartig durch

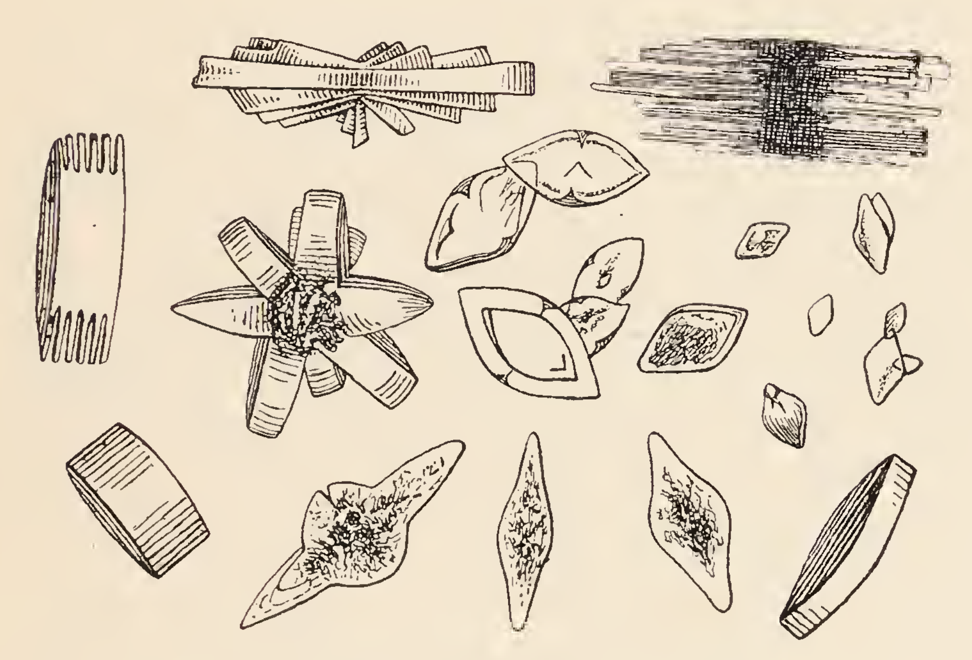


Fig. 66. Harnsäurekristalle.

Fig. 67. Oxalsaurer Kalk.



Fig. 68. Saures harnsaures Ammon.

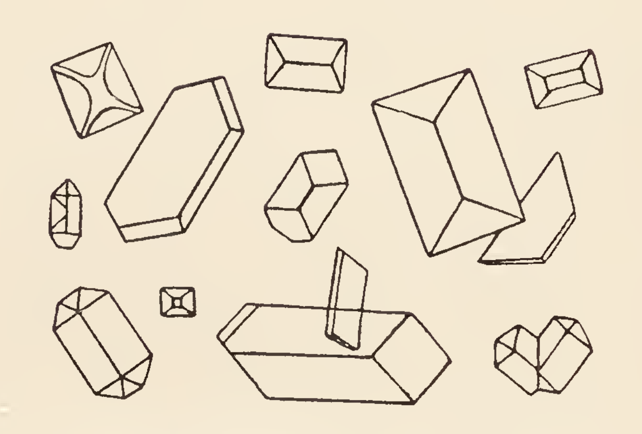


Fig. 69. Ammonium-Magnesium-Phosphat.

Harnfarbstoffe gefärbtes Pulver auf, das unter dem Mikroskop unter dem Bilde amorpher Körnchen und körniger Klümpchen erscheint. Harnsäure und saures harnsaures Natron sind häufige Sedimente des sauren Harns. 3. Oxalsaurer Kalk. Der seltener in Sedimentform auftretende oxalsaure Kalk erscheint in Form von kleinen, wasserklaren, regelmäßigen Oktaëdern („Briefkuvertform"). 4. Saures harnsaures Ammon ist sehr häufig im ammoniakalischen Harn zu finden. Es ist leicht kenntlich daran, daß es in Form von kleinen, grauen, fast undurchsichtigen Sphäriten auftritt, deren Kugeloberfläche entweder glatt oder mit feinen Spitzen besetzt ist („Stechapfel-" oder „Morgensternform"). 5. Ammonium-Magnesium-Phosphat fehlt

fast nie im ammoniakalischen Harn und bildet meist große, wasserklare Kristalle von „Sargdeckelform“. Diese Form ist allerdings mannigfaltigen Variationen unterworfen, aber doch an der Größe und Klarheit der Kristalle stets gut zu erkennen. 6. Phosphorsaurer Kalk bildet im ammoniakalischen Harn ein amorphes bis kristallinisches Pulver.

VI. Wärme.

Das Gesetz von der Erhaltung der Energie beherrscht die organische Welt ebenso wie die anorganische. Es sind dieselben Energieformen, die in den Organismen wirksam sind, wie in der anorganischen Natur. Eine besondere Lebenskraft existiert nicht. Organismen und anorganische Welt stehen in einem fortwährenden Energieaustausch miteinander. In bestimmten Formen tritt die Energie aus der anorganischen Welt in die Organismenwelt ein, in den Organismen erfährt sie bestimmte Umformungen und wird hier zum Teil aufgespeichert, zum Teil verläßt sie den Organismenkörper wieder in bestimmten Formen und kehrt in die anorganische Welt zurück. Befindet sich ein Organismus bei konstanter Außentemperatur im Stoffwechselgleichgewicht, d. h. tritt die gleiche Menge von Stoffen als Nahrung in seinen Körper ein, wie mit den Stoffwechselprodukten den Körper verläßt, so befindet sich der Körper auch im energetischen oder dynamischen Gleichgewicht, d. h. dieselbe Menge von Energie, die in ihn eingeführt wird, verläßt den Körper wieder in anderer Form. Wirken dissimilatorisch erregende Reize ein, so wird das energetische ebenso wie das Stoffwechselgleichgewicht gestört, insofern als potentielle, im Körper aufgespeicherte Energie in aktuelle Energie umgesetzt und vom Körper nach außen abgegeben wird, so daß mehr Energie den Körper verläßt, als während der Dauer der Reizung von außen her eingeführt wird. Das ist z. B. im Tierkörper der Fall bei andauernder Muskeltätigkeit.

Diejenige Energieform, die aus der anorganischen Natur zuerst in die Organismenwelt eintritt, ist das Licht. In den grünen Pflanzen wird die Energie des Lichtes durch das Chlorophyll umgeformt in chemische Energie. Aus der chemischen Energie werden zum Teil die Leistungen des Pflanzenkörpers (Bewegung, Wärme, osmotische Leistungen) bestritten, zum Teil wird daraus chemische potentielle Energie in Form von komplizierten organischen Verbindungen (Eiweißkörpern, Kohlehydraten, Fetten) beim Wachstum angehäuft. Die chemische potentielle Energie dieser Verbindungen, und zum Teil auch die Wärme, liefert das Betriebskapital an Energie für den Tierkörper. Aus der Umformung der chemischen potentiellen Energie der Nahrung und der Wärme bestreitet der Tierkörper seine sämtlichen energetischen Leistungen (Wärmeproduktion, Bewegung, Elektrizitätsproduktion, Lichtproduktion, osmotische Leistungen usw.). Richtet man es so ein, daß die sämtliche Energieproduktion eines erwachsenen Tierkörpers in einem längeren Zeitraume nur in Form von Wärme nach außen hin zum Ausdruck kommt, so kann man eine Wärme-

bilanz aufstellen. Da die Nahrungsstoffe im Tierkörper der Oxydation unterliegen, und schließlich in Form ihrer Oxydationsprodukte, Kohlensäure, Wasser, Schwefelsäure, Phosphorsäure usw., den Körper wieder verlassen, so muß die während einer bestimmten Zeitdauer dem Tierkörper zugeführte Nahrungsmenge, wenn sie außerhalb des Tierkörpers bis zu den entsprechenden Endprodukten verbrannt wird, dieselbe Menge von Verbrennungswärme liefern, wie auf ihrem Wege durch den Tierkörper. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß der Stickstoff der Nahrung nicht bis zu einfachen Stickoxyden im Körper verbrannt wird, sondern in Form von Harnstoff, Harnsäure, Kreatinin und anderer stickstoffhaltiger Endprodukte des Eiweißstoffwechsels durch den Harn ausgeschieden wird. Die Verbrennungswärme des Harnstoffs, der Harnsäure usw. muß daher, wenn eine richtige Bilanz erhalten werden soll, von der gesamten Verbrennungswärme der Nahrungsstoffe abgezogen werden. Tut man dies, so erhält man im kalorimetrischen Experiment in der Tat ein vollkommenes energetisches Gleichgewicht. Die Wärmeproduktion des Tierkörpers im Kalorimeter bei Zufuhr einer bestimmten Nahrungsmenge ist gleich der Verbrennungswärme dieser Nahrungsmenge. Ein erwachsener Mensch setzt in 24 Stunden etwa eine Energiemenge von rund 2500 Kalorien um (1 Kalorie K. = Wärmemenge, welche nötig ist, um 1 kg Wasser von 0^0 auf 1^0 C zu erwärmen).

Temperaturregulierung.

Theoretische Vorbemerkungen. Alle Organismen produzieren Wärme. Während aber die Pflanzen und die Kaltblüter die Wärme in demselben Maße, wie sie produziert wird, an das umgebende Medium abgeben, speichern die Warmblüter die Wärme bis zu einem gewissen Grade im Körper auf. Die Kaltblüter ändern daher ihre Körpertemperatur mit der Temperatur des Mediums. Die Warmblüter dagegen besitzen Mechanismen, welche es gestatten, ihre Körpertemperatur trotz großer Temperaturschwankungen des äußeren Mediums immer auf gleicher Höhe zu erhalten. Die Ausdrücke Kaltblüter und Warmblüter bringen also nicht das eigentliche Wesen ihrer Verschiedenheit zum Ausdruck und können direkt falsch werden, denn ein Kaltblüter kann bei hoher Außentemperatur (Wüste, Tropen) die gleiche oder sogar eine höhere Temperatur haben wie ein Warmblüter. Man hat deshalb die beiden Tiergruppen unterschieden, je nachdem sie die Fähigkeit der Temperaturregulierung besitzen oder nicht, in „Homoiotherme" (Gleichwarme, die ihre Temperatur immer auf derselben Höhe erhalten), und in „Poikilotherme" (Wechselwarme, die ihre Temperatur mit der Temperatur der Umgebung ändern). Säugetiere und Vögel sind homoiotherm, alle anderen Tiere poikilotherm. Indessen gibt es für alle homoiothermen Tiere Grenzen der Außentemperatur, bei deren Überschreitung sie von ihren Temperaturregulierungsmechanismen im Stich gelassen werden. Diese Grenzen sind für verschiedene Homoiotherme sehr verschieden weit gelegen. Eine Gruppe von homoiothermen Tieren büßt ihre Temperaturregulierungsfähigkeit bereits ein, wenn die Außentemperatur einige Zeit um 0^0 herum sich bewegt, und wird dann den Poikilothermen ähnlich, indem die Intensität ihrer Lebensprozesse wie bei den letzteren mit sinkender Temperatur sinkt. Das sind die Winterschläfer (Murmeltier, Dachs, Igel, Hamster, Siebenschläfer, Haselmaus, Fledermaus usw.).

Die Regulierung der Temperaturhöhe bei den homoiothermen Tieren geschieht durch eine Anzahl einzelner Mechanismen, die sich aber sämtlich zwei verschiedenen Prinzipien unterordnen, d. i. die Regulierung der Wärmeproduktion und die Regulierung der Wärmeabgabe seitens des Körpers.

Die Wärmeproduktion wird reguliert durch die Intensität des Stoffwechsels, die mit höherer Außentemperatur sinkt, mit niederer Außentemperatur steigt. Infolgedessen wird bei höherer Außentemperatur weniger, bei niedrigerer mehr Wärme produziert. Dementsprechend ist das Nahrungsbedürfnis in der Kälte (Winter) größer, in der Wärme (Sommer) geringer. Die Regulierung geschieht auf reflektorischem Wege durch Vermittelung des Nervensystems. Die sensible Bahn bilden dabei die Temperaturnerven der Haut. Die Organe, die wesentlich an der reflektorischen Änderung des Stoffwechsels beteiligt sind, sind die Muskeln (stärkere Tätigkeit: Zittern der Muskeln bei Kälte). Werden die Muskeln dem Einfluß des Nervensystems entzogen, z. B. durch Curarevergiftung (siehe unten), so leidet die Wärmeregulierung in der Kälte.

Die Wärmeabgabe wird reguliert: 1. Durch Erweiterung der Hautgefäße in der Wärme, Verengerung derselben in der Kälte. Sind die Hautgefäße weit, so fließt mehr Blut in der Zeiteinheit durch die Haut, sind sie eng, weniger. Da das Blut das wichtigste Transportmittel der Wärme im Körper ist und da die Wärmeabgabe immer nur von der Oberfläche des Körpers, d. h. der Haut, stattfindet, so muß also bei höherer Außentemperatur die Wärmeabgabe begünstigt, bei niedrigerer eingeschränkt werden. Gleichzeitig wird durch die Blutverteilung dabei die Wärmeproduktion beeinflußt. Sind die Hautgefäße in der Kälte eng, so sind die inneren Organe (Leber, Darm, Muskeln usw.) dafür um so blutreicher. Da hier der Sitz der Hauptwärmeproduktion ist, so wird durch reichlichere Ernährung dieser Organe und Steigerung ihres Stoffwechsels auch die Wärmeproduktion gesteigert werden. In der Wärme ist das umgekehrt. 2. Durch Beeinflussung der Herztätigkeit. In der Wärme ist die Zahl der Herzschläge größer, in der Kälte kleiner. Dadurch wird in einem Falle mehr, im anderen weniger Blut in der Zeiteinheit durch die Haut gepumpt, d. h. die Wärmeabgabe im ersteren Falle begünstigt, im zweiten eingeschränkt. 3. Durch Beeinflussung der Schweißsekretion. Diese ist beim Menschen der wichtigste Faktor für die Regulierung der Wärmeabgabe, denn für die Verdunstung von Wasser wird Wärme verbraucht. Verdunstet Wasser an der Oberfläche eines Körpers, so wird dem Körper dadurch Wärme entzogen (Prinzip des Kühlhaltens von Trinkwasser im Orient mittels poröser Tongefäße). Bei der Wärme ist nun die Schweißsekretion entsprechend der Erweiterung der Hautgefäße größer, bei der Kälte geringer oder hört ganz auf. Daher in der Wärme viel stärkere Wärmeabgabe durch Schweißverdunstung als in der Kälte. 4. Durch Beeinflussung der Atemfrequenz. Mit der Atmung wird dem Körper Wärme entzogen, indem einerseits die Atemluft vom Körper nahezu auf Körpertemperatur erwärmt und indem andererseits Wärme zur Verdunstung von Wasser in den Lungen verbraucht wird, da ja die Exspirationsluft, mit Wasserdampf gesättigt, die Lungen verläßt. In der Wärme ist nun die Atemfrequenz größer, in der Kälte geringer. Dadurch wird in der Wärme mehr, in der Kälte weniger Luft von den Lungen gewechselt, so daß die Wärmeabgabe durch die

Lungen in der Wärme befördert, in der Kälte vermindert wird. Bei Tieren, die keine Schweißsekretion haben (Hund), spielt dieser Faktor eine wesentliche Rolle (schnelle Atmung bei geöffnetem Maul und heraushängender Zunge in der Wärme). 5. Durch die Hautbekleidung. Die Hautbekleidung schafft eine Luftschicht um den Körper. Da die Luft ein schlechter Wärmeleiter ist, wird je nach der Dicke und Luftdurchgängigkeit dieser Schicht die Wärme durch Leitung schwerer oder leichter vom Körper abgegeben werden können (Sommer- und Winterpelz bei Tieren, Wahl der Kleidung beim Menschen). Außer der Wärmeleitung sind für die Wahl der Kleidung beim Menschen noch maßgebend: das Wärmestrahlungsvermögen (rauhe Kleidungsstoffe strahlen leichter die Wärme aus als glatte), das Reflexionsvermögen gegenüber den Sonnenstrahlen (helle reflektieren mehr die Sonnenstrahlen als dunkle Kleidungsstoffe), sowie die Hygroskopizität und die Wasserverdunstungsfähigkeit (Wolle nimmt mehr Wasser vom Körper auf als Leinewand, gibt aber das Wasser viel schwerer durch Verdunstung ab als Leinen). Durch Einschränkung der Wärmeabgabe erspart geeignete Kleidung im Winter entsprechende Mengen von Nahrung für die Wärmeproduktion.

Das Versagen der Temperaturregulierung bei niedriger Außentemperatur. Eine weiße Ratte wird mit einer Tiegelzange aus ihrem Käfig genommen und so auf den Tisch niedergedrückt, daß sie am Nacken und an der Lende mit je einer Hand gefaßt und aufgehoben werden kann. Indem man sie sich in dieser Weise mit dem Abdomen nach oben festhalten läßt, führt man unter leichtem Hochdrücken der Schwanzwurzel ein eingefettetes Thermometer per anum in den Mastdarm ein und mißt hier die Körpertemperatur. Sie beträgt 37° C. Ist diese Temperaturmessung ausgeführt, so wird in einem Eimer eine Kältemischung hergestellt durch Vermischen gleicher Mengen von Viehsalz und grob zerstoßenem Eis, resp. frischem Schnee. Von dieser Kältemischung wird eine größere Menge in ein möglichst großes Glasgefäß geschüttet und in diesem ein kleineres Glasgefäß von etwa 500 ccm Inhalt fest bis zum Rande ringsherum in die Kältemischung eingebettet. Der flache Boden des inneren Gefäßes wird mit einer Filzscheibe bedeckt. Darauf wird die Ratte in das innere Gefäß gebracht und das Gefäß mit einem Glasdeckel verschlossen, der ein ca. 3 cm großes kreisrundes Loch besitzt. Dieses Loch ist mit einem doppelt durchbohrten Gummistopfen verschlossen, dessen eine Bohrung ein Thermometer mit einer Skala zwischen etwa — 20° und + 40° führt und dessen andere Bohrung ein Glasrohr mit kleiner Außenöffnung zum Luftaustausch mit dem Innern trägt. Das Quecksilberreservoir des Thermometers muß ganz im Innern des Gefäßes gelegen sein. Ebenso muß das Glasrohr weit genug ins Innere führen. Ist das Gefäß mit dem Deckel verschlossen, so beschwert man den Deckel mit einem Gewicht und umgibt es möglichst dicht mit der Kältemischung, doch so, daß die

Ratte noch von oben her durch den Deckel beobachtet werden kann. Dann läßt man das Gefäß längere Zeit stehen und verfolgt genau das Sinken der Temperatur und das Verhalten der Ratte. Die Temperatur im Gefäß sinkt, wenn die Kältemischung gut ist, sehr bald auf 0° und tiefer. Die Ratte ist zunächst sehr lebhaft und macht heftige Bewegungen. Nach etwa 25—30 Minuten ist das Tier aber meistens schon bedeutend ruhiger geworden. Ist die Temperatur im Gefäß etwa auf —5 bis —10° gesunken und liegt die Ratte vollständig still mit stark verlangsamter resp. unregelmäßiger Atmung, was gewöhnlich nach 1/2—1 Stunde der Fall ist, so nimmt man die Ratte heraus und mißt schnell wiederum die Temperatur im Rectum. Man findet jetzt, daß die Körpertemperatur von ihrer normalen Höhe 37° bis auf etwa 15° C gesunken ist. Dabei ist die Ratte fast bewegungslos und zeigt keinen Lagereflex mehr (Kältelähmung wie beim Kaltblüter oder Winterschläfer). Atmung und Herzschlag sind verlangsamt, die Extremitäten und der Schwanz sind erstarrt. Aber die Ratte lebt noch und erholt sich in 1—2 Stunden wieder vollkommen. Die Temperaturregulierung hat also intra vitam bei so niedriger Außentemperatur infolge der starken Wärmeabgabe vollständig versagt. Ist die Körpertemperatur der Ratte beim Versuch unter 12° gesunken, so erholt sich das Tier gewöhnlich nicht mehr. Häufig wird der Schwanz nach der Erholung nekrotisch und geht verloren. Läßt man die Ratte nur kürzere Zeit im Kälteraum, so sinkt ihre Körpertemperatur entsprechend weniger, die Erholung erfolgt um so schneller.

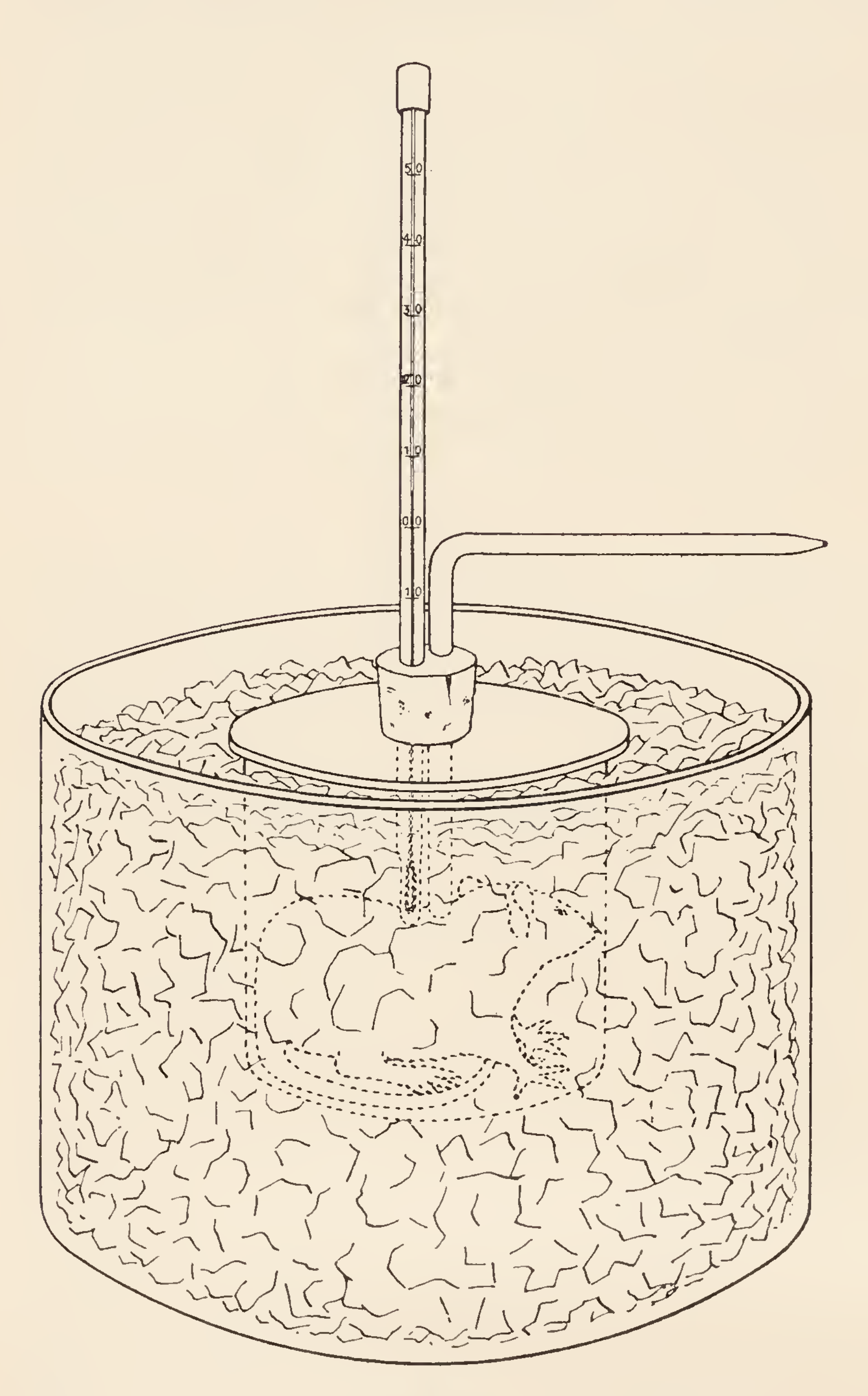


Fig. 70. Kälteversuch zur Demonstration des Versagens der Temperaturregulierung in der Kälte. Das innere Gefäß, in dem sich die Ratte befindet, ist mit einer Kältemischung umgeben.

Das Versagen der Temperaturregulierung bei hoher Außentemperatur. Wärmespeicherung. Zwei Glasgefäße, wie die des vorigen Versuches, werden so aufgestellt, daß das kleinere auf einem Porzellandreifuß in der Mitte des größeren steht. Darauf wird eine weiße Ratte in das kleinere Gefäß gebracht und das letztere mit seinem Deckel verschlossen, der wiederum ein Thermometer (Skala etwa zwischen + 20° und + 80° C) und eine Glasröhre in seinem doppelt durchbohrten Kautschukstopfen trägt. Der Deckel wird mit schweren Gewichten belastet. Darauf wird zur vorläufigen Anwärmung erst etwas heißes Wasser auf den Boden des großen Gefäßes gegossen. Ist das Gefäß auf diese Weise vorgewärmt, so wird es aus einer Kanne mit siedendem Wasser bis dicht unter den oberen Rand des inneren, kleinen Gefäßes gefüllt. Zugleich beobachtet man das Steigen der Temperatur und das Verhalten der Ratte. Die Temperatur im inneren Gefäß erreicht in 5 Minuten gewöhnlich eine Höhe von 50—60° C. Die Ratte zeigt zunächst heftige Erregung. Sie macht ununterbrochen hastige, unruhige Bewegungen. Ihre Atmung ist stark beschleunigt. Nach 5—7 Minuten läßt die Erregung nach und es stellen sich Lähmungssymptome ein. Die Bewegungen werden träge, das Tier legt sich auf die Seite, die Atmung wird unregelmäßig, flach, schnappend. Nun nimmt man das Tier sofort aus dem Gefäß (Vorsicht beim Abnehmen der Gewichte, damit das innere Gefäß bei der Entlastung nicht umkippt!) und mißt schnell die Temperatur im Mastdarm. Man findet jetzt eine Temperatur von 45—47° C. Das Tier ist zunächst nahezu be-

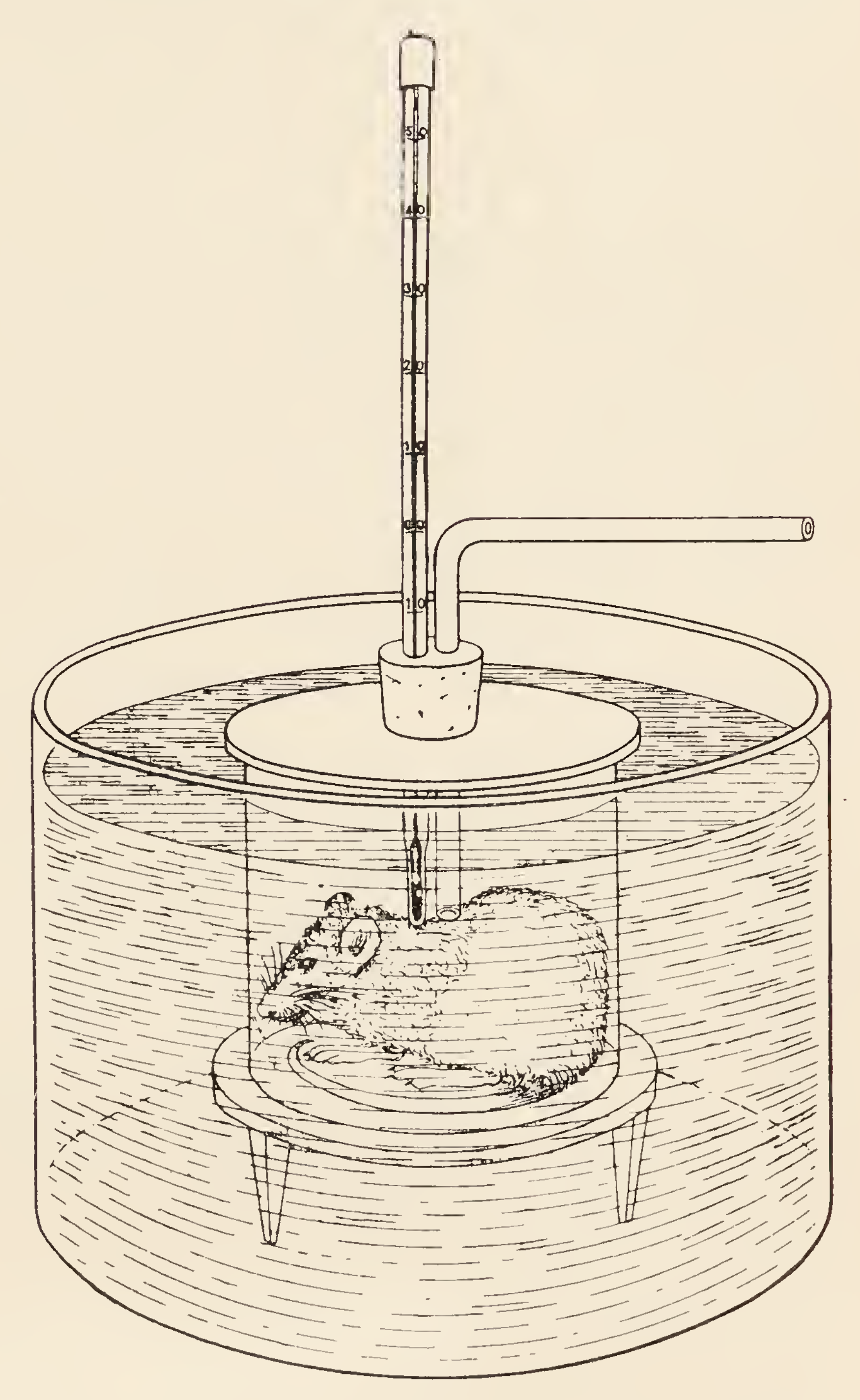


Fig. 71. Wärmeversuch zur Demonstration des Versagens der Temperaturregulierung in der Wärme. Das innere Gefäß, in dem sich die Ratte befindet, ist von heißem Wasser umgeben.

wegungslos (Wärmelähmung). Bei der Abkühlung kehren krampfartige Zuckungen im ganzen Körper zurück. Allmählich wird die Atmung wieder regelmäßig. Der Herzschlag, der vorher ungeheuer frequent war, wird wieder langsamer. Der Lagereflex kehrt nach einiger Zeit wieder. Das Tier kann sich wieder erholen. In der Regel gehen aber Tiere, deren Temperatur über 45° C gestiegen war, trotz anfänglicher Erholung nach einiger Zeit ein.

Bei diesem Versuch versagt die Temperaturregulierung durch Verminderung der Wärmeabgabe und es tritt eine Wärmeaufspeicherung im Tierkörper ein. Solche Fälle kommen beim Menschen vor im heißen Sommer oder in den heißen Klimaten (Wüste, Tropen). Das sind die Erscheinungen des Hitzschlages. In der Wüste wie in den Tropen ist es die hohe Außentemperatur und das Versagen der Wärmeregulierung durch Schweißverdunstung, welche den Hitzschlag bedingt. In der Wüste ist die Luft trocken und der Wasserverlust durch Schweiß sehr groß. Wird dem Körper nicht genug Wasser zugeführt, so sinkt die Schweißsekretion infolge des Wassermangels im Körper und die Wärmeabgabe wird vermindert. Dadurch steigt die Körpertemperatur. In den Tropen ist die Luft mit Wasserdampf gesättigt und die Schweißverdunstung kann nicht in genügendem Maße von statten gehen. In beiden Fällen kommt es zur Wärmespeicherung, besonders wenn durch Muskeltätigkeit auch noch die Wärmeproduktion gesteigert wird. Es stellen sich daher beim Menschen, wie in dem obigen Versuch, zuerst Erregungserscheinungen von seiten des Zentralnervensystems (Delirien, Krämpfe), dann Lähmungserscheinungen (Bewußtlosigkeit, Bewegungslosigkeit) ein und schließlich der Tod, wenn nicht rechtzeitig Abkühlung erfolgt. Pathologisch tritt ferner eine Wärmespeicherung ein beim Fieber und zwar teils infolge gesteigerter Wärmeproduktion, teils infolge verminderter Wärmeabgabe. Die Temperaturregulierung läßt im Stich: „Froststadium" (Hautgefäße verengert, keine Schweißsekretion, Frostempfindung). Die Temperatur beginnt erst wieder zu sinken, sobald die Regulationsmechanismen wieder in Funktion treten: „Hitzestadium" (Hitzegefühl, Hautgefäße erweitert, starke Schweißsekretion).

VII. Bewegung.

Die Produktion von mechanischer Energie äußert sich im Tierkörper im wesentlichen in der Form der Kontraktionsbewegungen. Unter den Kontraktionsbewegungen lassen sich drei Formen unterscheiden, die amöboide oder Protoplasmabewegung (Leukozyten), die Flimmerbewegung (Flimmerepithelien, Spermatozoen) und die Muskel-

bewegung (glatte und quergestreifte Muskulatur). Das Gemeinsame aller Kontraktionsbewegungen liegt darin, daß sie charakterisiert sind durch Veränderung der Oberflächengröße bei gleichbleibender Masse der lebendigen Substanz und daß sie beruhen auf chemischen Prozessen, die zur gegenseitigen Verschiebung der Teilchen Veranlassung geben. Bei allen Kontraktionsbewegungen sind zwei Phasen zu unterscheiden: Die Kontraktionsphase, bei der die Oberfläche im Verhältnis zur Masse kleiner, und die Expansionsphase, bei der die Oberfläche wieder größer wird. Wahrscheinlich beruhen alle Kontraktionsbewegungen auf Veränderungen in der Oberflächenspannung der lebendigen Substanz, die durch Stoffwechselprozesse bedingt sind.

Die groben Bewegungen in unserem Körper und die Lokomotion des ganzen Körpers wird besorgt durch Muskelkontraktionen. Dabei ist die glatte Muskulatur (Darmtraktus, Gefäßsystem, Urogenitalapparat, Haut usw.) durch mancherlei physiologische Eigenschaften von der quergestreiften Muskulatur (Skelettmuskeln, Zwerchfell, äußere Sphinkteren, Herz) unterschieden. Die glatte Muskulatur kontrahiert sich langsam, ist zum größten Teil der willkürlichen Innervation nicht zugänglich (sog. unwillkürliche Muskulatur) und besitzt einen vom Zentralnervensystem unabhängigen Tonus („Tonus“ = Zustand dauernder Erregung. Außer bei muskulösen, besonders auch bei den zentralen Elementen des Nervensystems wichtig!), wobei es vorläufig dahingestellt bleiben muß, wodurch dieser Tonus unterhalten wird, d. h. ob er durch direkte Reize oder durch indirekte Reize von seiten peripherisch gelegener nervöser Elemente bedingt ist. Die quergestreifte Muskulatur kontrahiert sich schnell, ist (mit Ausnahme des Herzens) fast überall der willkürlichen Innervation zugänglich (sog. willkürliche Muskulatur) und besitzt keinen autonomen Tonus. Sie zeigt überhaupt keine autonome Tätigkeit, sondern wird zu ihren Kontraktionen im normalen Körper stets nur durch Impulse von seiten des Nervensystems veranlaßt. Ein herausgeschnittener Skelettmuskel führt spontan keine Bewegungen mehr aus, sondern nur noch auf Reize. Bei der autonomen Tätigkeit des Herzens ist es vorläufig ebenfalls noch strittig, wodurch sie erregt wird, ob durch direkt auf die Muskulatur einwirkende Reize („myogener“ Ursprung der Herztätigkeit) oder durch Impulse von seiten der nervösen, im Herzen selbst gelegenen Elemente auf die Herzmuskulatur („neurogener“ Ursprung der Herztätigkeit). Die letztere Auffassung ist heute wieder die vorherrschende geworden.

A. Direkte und indirekte Muskelreizung.

Theoretische Vorbemerkungen. Der Skelettmuskel führt nur Bewegungen aus, wenn Reize ihn erregen. Im normalen Körper bestehen die physiologischen Reize für die Muskulatur in den Impulsen, die das Zentralnervensystem abgibt und dem Muskel durch die motorischen Nerven zuleitet. Diese sind es allein, welche den Muskel zur Tätigkeit veranlassen. Isolieren wir daher den Muskel aus seinem Zusammenhange mit dem Zentralnervensystem, so zuckt der Muskel niemals mehr spontan. Wir können ihn aber auf zwei verschiedenen Wegen zur Bewegung veranlassen, entweder indem wir die physiologischen Reizimpulse, die das Zentralnervensystem entsendet, durch künstliche Reize, die wir dem motorischen Nerven zuführen, nachahmen, so daß der motorische Nerv

seinen Nervenimpuls dem Muskel zuführt wie im intakten Körper — dann sprechen wir von „indirekter Muskelreizung“ — oder indem wir künstliche Reize irgendwelcher Art direkt auf die Muskelsubstanz selbst, ohne Vermittlung des Nerven einwirken lassen — dann sprechen wir von „direkter Muskelreizung“. Der erstere Weg ist der einfachere, der letztere erfordert die Anwendung besonderer Hilfsmittel; denn wenn wir auf einen aus dem normalen Körper herausgeschnittenen Muskel irgendeinen Reiz einwirken lassen, so erregt dieser nicht bloß die Muskelsubstanz, sondern auch die in ihr verzweigten Nervenfasern, ja die letzteren in erster Linie, da sie erregbarer sind als die Muskelsubstanz selbst. So müßte es unentschieden bleiben, ob die Muskelsubstanz direkt überhaupt durch künstliche Reize erregbar ist, wenn wir nicht ein Mittel besäßen, die Wirksamkeit der Nervenreize vollständig auszuschalten. Dieses Mittel liefert das südamerikanische Pfeilgift „Curare“. Vergiftet man ein Tier mit Curare, so werden die motorischen Nervenendapparate in den Skelettmuskeln vollständig gelähmt, so daß überhaupt keine Impulse mehr vom Nerven aus zur Muskelsubstanz durchdringen können. Das läßt sich durch folgenden Versuch CLAUDE BERNARDS beweisen. Man unterbindet einem Frosch die Schenkelarterie der einen Seite, so daß das Gift, welches man in den Körper einspritzt und welches durch das Blut in alle Teile des Körpers getragen wird, den operierten Schenkel nicht erreichen kann. Dann sieht man, daß nach Curarevergiftung der ganze Körper mit Ausnahme des operierten Schenkels gelähmt ist. Reizt man nunmehr die Haut im Bereiche des vergifteten Körpers stark, so führt der Frosch eine Reflexbewegung mit dem operierten Schenkel aus. Diese Tatsache beweist: 1. daß die sensible Nervenbahn, obwohl sie der Curarewirkung ausgesetzt war, nicht gelähmt sein kann, 2. daß das Zentralnervensystem, obwohl es der Giftwirkung ausgesetzt ist, nicht gelähmt sein kann, 3. daß die motorische Nervenbahn ebenfalls nicht gelähmt sein kann, denn sie ist ebenfalls von ihrem Austritt aus dem Rückenmark an bis zum Oberschenkel der Giftwirkung ausgesetzt. Daß auch die Muskelsubstanz der vergifteten Körperpartien nicht gelähmt ist, ersieht man schließlich, wenn man von dem vergifteten Schenkel ein Nerv-Muskelpräparat anfertigt. Dieses Präparat ist nicht mehr erregbar durch indirekte Reizung vom Nerven her, wohl aber, wenn man den Reiz direkt auf die Muskelsubstanz einwirken läßt. Aus alledem ergibt sich, daß das Curare nur allein die Punkte lähmt, wo die motorischen Nerven in die Muskelsubstanz übergehen, d. h. die motorischen Nervenendapparate. Zugleich beweist der Versuch die direkte Erregbarkeit der Muskelsubstanz selbst. Dieser Versuch CLAUDE BERNARDS ist in seiner genialen Einfachheit paradigmatisch für alle Untersuchungen, welche die Lokalisation von Giftwirkungen im Auge haben.

Unter den verschiedenen Reizqualitäten (chemischen, mechanischen, osmotischen, thermischen, elektrischen Reizen), die wir verwenden können, sei es für indirekte, sei es für direkte Muskelreizung, eignen sich am besten die elektrischen Reize, weil sie einerseits das lebendige Objekt am wenigsten schädigen und weil sie sich andererseits so bequem und so fein an Intensität und Dauer abstufen lassen, wie kein anderer Reiz. Infolgedessen ist der elektrische Reiz in der ganzen physiologischen Technik, überall, wo es sich darum handelt, ein lebendiges Objekt, nicht bloß den Muskel oder den Nerven, sondern irgendwelche Form der lebendigen Substanz durch Reize

zu erregen, zum eigentlichen Reiz geworden, und zwar verwendet man den elektrischen Reiz sowohl in Form des konstanten Stromes, als auch des einzelnen Induktionsschlages (Schließungs- und Öffnungsschlages), wie auch des faradischen Induktionsstromes. Um einzelne Zuckungen oder tetanische Kontraktionen des Muskels zu erzielen, benutzt man am besten Induktionsströme und als bequemsten Apparat für die Gewinnung derselben das du Bois-Reymondsche Schlitteninduktorium (vgl. letztes Kapitel). Den konstanten Strom liefern die konstanten Elemente (vgl. letztes Kapitel). Über die speziellen physiologischen Wirkungen des konstanten Stromes siehe unten.

Herstellung eines Nerv-Muskelpräparates vom Frosch. Wegen der längeren Dauer des Überlebens isolierter Körperteile eignen sich die Muskeln und Nerven des Kaltblüters unvergleichlich viel besser zu Versuchen als die gleichen Gewebe des Warmblüters. Daher ist der Frosch seit langer Zeit zum Haustier in der Physiologie geworden. Um ein Präparat zu gewinnen, das eine Muskelgruppe, resp. einen einzelnen Muskel mit zuführenden motorischen Nerven repräsentiert, benutzt man die langen Schenkelnerven und -muskeln und verfährt folgendermaßen. Man faßt einen Frosch mit der linken Hand fest in der Lendengegend und schneidet mit der rechten Hand schnell mittels einer Schere den Kopf ab. Darauf bohrt man mit einer dicken Nadel sowohl das Gehirn als auch das Rückenmark gründlich aus, so daß die Muskeln der Extremitäten vollkommen erschlafft sind. Dann legt man das Präparat auf den Rücken, hebt mit einer Pinzette mit der linken Hand die Bauchhaut nebst Bauchmuskeln faltenartig in die Höhe und schneidet mit der rechten Hand mittels einer Schere Bauchhaut, Bauchmuskeln und Eingeweide von dem Mastdarm an bis zur Lunge hinauf ab, aber so, daß die aus dem Rückgrat austretenden, dem Rücken innen anliegenden silberweißen Nervenstämme nicht verletzt werden. Ist das geschehen, so schneidet man die Wirbelsäule oberhalb der Austrittsstelle des Plexus ischiadicus quer durch, faßt das Präparat mit einer gerieften Pinzette quer über die Wirbelsäule, so daß die Nerven nicht gequetscht werden, recht fest mit der rechten Hand und zieht, indem man die Haut am Rückenquerschnitt mit den Fingern der Linken fest in die Falte eines Handtuches faßt, mit einem kräftigen Zug die gesamte Körperhaut von dem Schenkelpräparat ab, bis zu den Zehen hinunter. Nunmehr legt man das Präparat wieder auf den Rücken, und führt mittels eines Schlingenführers oder einer spitzen Pinzette einen Faden unter die Nervenstämme des Plexus ischiadicus und schlingt denselben recht hoch oben an ihrer Austrittsstelle aus der Wirbelsäule mit einem doppelten Knoten fest an. Schneidet man jetzt die angeschlungenen Nervenstämme zwischen Bindestelle und Wirbelsäule durch und das eine Fadenende ab, so kann man an dem

anderen Fadenende den Nerven dirigieren (Fig. 72 A), ohne ihn selbst mit der Hand oder Pinzette zu berühren, denn es ist wichtig, daß man sich gewöhnt, Nerven und Muskeln, die zu einem Versuch gebraucht werden, nie direkt anzufassen. Nun wird das Präparat auf dem Rücken liegend so orientiert, daß es mit den Zehenspitzen

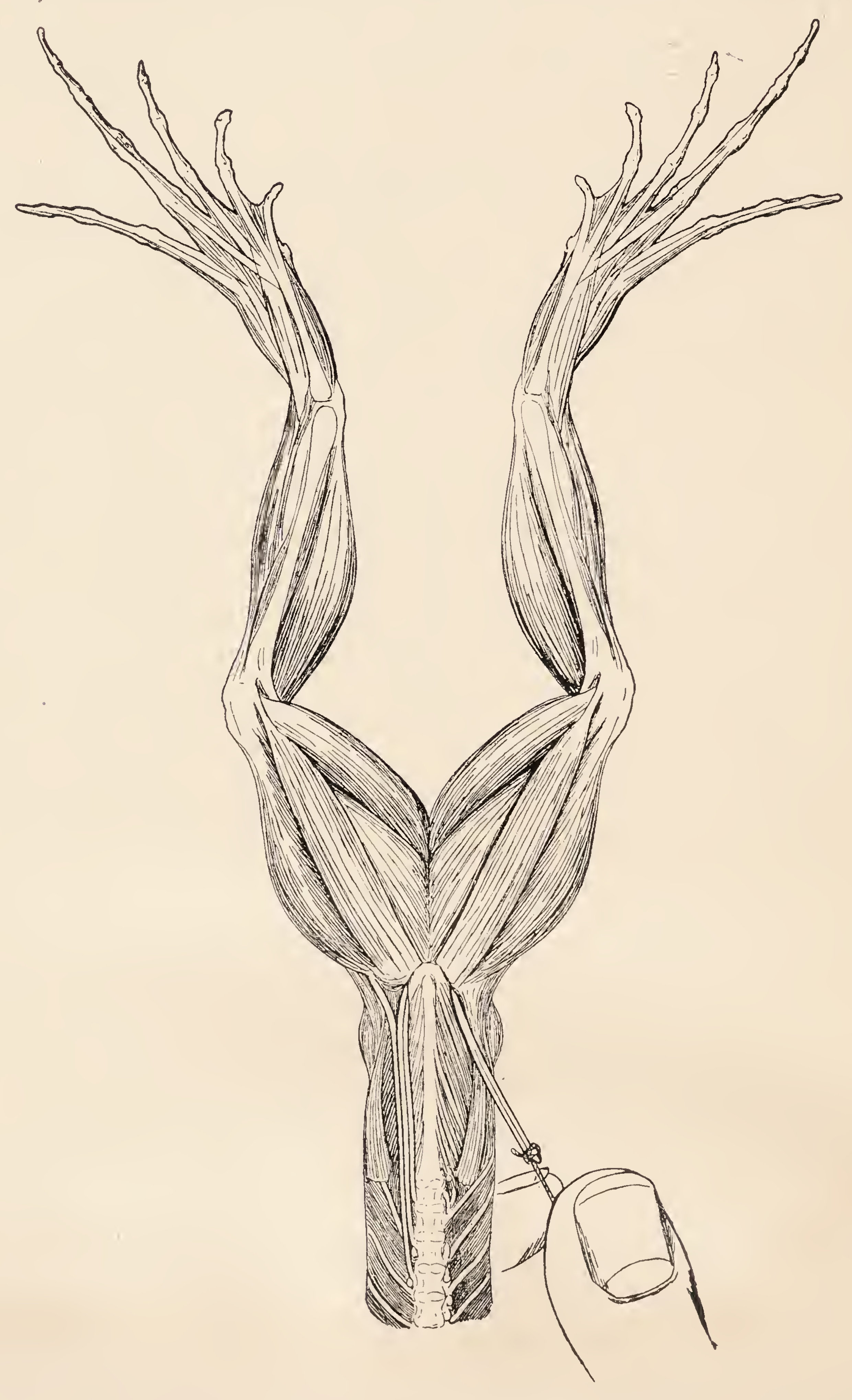


Fig. 72 A. Präparation des N. ischiadicus. I. Phase. Die Schenkel des Frosches sind enthäutet und liegen auf der Rückenseite. Der N. ischiadicus ist mit einem Faden angeschlungen, an dem er mit der Hand geführt wird. Der Nerv ist bereits bis zum Ende des Beckens freipräpariert.

vom Operateur weg gerichtet ist. Man hebt darauf mit der linken Hand den abgeschnittenen Nervenplexus an seinem Faden schräg zu sich in die Höhe und präpariert ihn mit der rechten Hand mittels einer Schere von seiner Umgebung frei bis in die Spitze des Beckens hinein. Dann macht man mit der Schere einen Schnitt durch die



Fig. 72 B. Präparation des N. ischiadicus. II. Phase. Die Schenkel liegen jetzt auf der Bauchseite und der Nerv wird auf der Rückenseite unter leichter Anspannung mittels des Fadens weiter freipräpariert

Rückenwand der Länge nach zwischen Ilium und Os coccygis, wobei man sich mit der Schere, um den Nerven zu schonen, möglichst nach der Medianlinie zu halten hat, und zieht, indem man nunmehr das Präparat in die Bauchlage bringt, den Nerven am Faden durch diesen Schlitz hindurch, so daß man ihn jetzt in seinem Verlauf auf der Dorsalseite des Oberschenkels weiter frei präparieren kann. Dabei verfährt man so, daß man den Nerven an seinem Faden immer im spitzen Winkel hochhebt, ohne aber das Präparat dabei auf der Unterlage festzuhalten, da sonst der Nerv zu leicht gezerrt werden könnte. Dann löst man mit der Schere, die man immer parallel dem Nerven hält (Fig. 72 B), den letzteren aus seiner bindegewebigen Hülle heraus. Ist die schwierigste Stelle, an welcher der Nerv aus dem Becken auf die Dorsalseite des Oberschenkels hindurchtritt, glücklich überwunden, so kann man sich die weitere Isolierung erleichtern, indem man die Furche, in welcher der Nerv zwischen den Muskeln des Oberschenkels verläuft, durch Auseinanderziehen der beiderseitigen Muskeln erweitert, so daß der Nerv bis zur Kniekehle hin frei vor einem liegt. Dann ist seine Isolierung mittels der Schere leicht ausgeführt. Dabei müssen natürlich alle die Äste, welche zu den Oberschenkelmuskeln gehen, durchschnitten werden, wobei jedesmal eine Zuckung in der entsprechenden Muskelgruppe auftritt. Ist der Nerv bis in die Kniekehle hinein freigelegt, so befreit man ihn von eventuell noch anhängendem Bindegewebe und schneidet dann den Oberschenkelknochen recht nahe am Becken quer durch, um ihn schließlich mit der Schere sauber bis zum Knie von seinen Muskeln zu befreien. Auf diese Weise hat man ein Nerv-Muskelpräparat gewonnen, das den Schenkel mit den sämtlichen Muskeln vom Knie an abwärts und mit ihren zuführenden motorischen Nerven vorstellt und das am Oberschenkelknochen in einem Muskelhalter fixiert werden kann. Braucht man das Präparat nicht sofort, so muß man es in eine dem Froschblut isotonische Salzlösung legen, um es vor Vertrocknung zu schützen. Es genügt für alle hier in Betracht kommenden Zwecke eine 0,8 proz. NaCl-Lösung (sog. physiologische Kochsalzlösung). Mittels einer solchen Lösung ist auch jedes Präparat während eines Versuchs hin und wieder zu bepinseln, wenn man nicht durch Eintrocknung sehr störende Erscheinungen erhalten will.

Ist es notwendig, einen einzelnen Muskel des Unterschenkels nebst zugehörigem Nerven zu präparieren, um ihn für die graphische Verzeichnung seiner Zuckung zu verwenden, so wählt man dazu meistens den Gastrocnemius. Man verfährt dann so, daß man ein Nerv-Muskelpräparat der obigen Art herstellt und dasselbe an den Zehen zwischen Daumen und Zeigefinger der linken Hand so hält, daß es mit dem Fußgelenk über dem Zeigefinger reitet. Dann

schneidet man mit der Schere die Achillessehne unterhalb des Sesambeins quer durch, löst sie von ihrer anliegenden Fläche ab und trennt von ihr aus den ganzen Gastrocnemius bis hinauf zu seinem Ursprung am Knie von dem Knochen des Unterschenkels durch einfaches Abziehen los. Schließlich schneidet man den ganzen Unterschenkel, mit Ausnahme des Gastrocnemius, in der Nähe des Kniegelenks ab, ohne den Nerven zu verletzen, und hat nun ein Präparat, das nur aus Gastrocnemius und seinem Nerven, nebst einem Stück des Oberschenkelknochens zur Befestigung im Muskelhalter besteht. Bohrt man endlich in die Achillessehne oberhalb des Sesambeins mit einer Nadel noch ein Loch, so kann man in diesem Loch einen kleinen Haken anbringen, der dazu dient, den Muskel mit einem Faden und einer Schreibvorrichtung in Verbindung zu setzen.

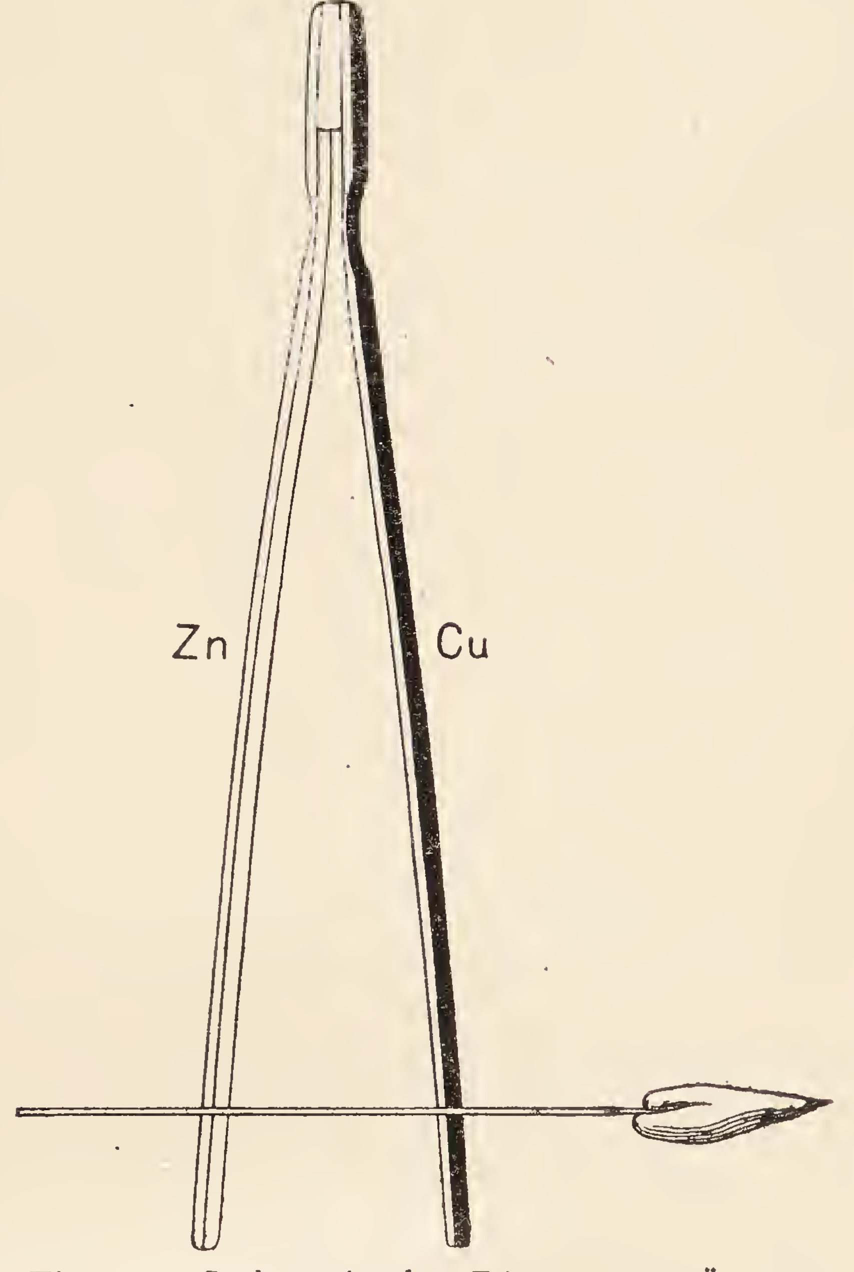


Fig. 73. Galvanische Pinzette. Über den beiden freien Enden der Metallstreifen liegt der Nerv eines Nerv-Muskelpräparates (letzteres chematisch).

Indirekte Reizung des Muskels mit der galvanischen Pinzette. Ein Schenkelpräparat der obigen Art wird mit dem Oberschenkelknochen in einem Muskelhalter (siehe letztes Kapitel) befestigt, so daß der Schenkel senkrecht herabhängt. Dann hebt man den Nerven an seinem Faden hoch und legt ihn über die Kanten einer galvanischen Pinzette (Fig. 73). Die letztere besteht aus einem Kupfer- und Zinkstreifen, die an ihrem einen Ende pinzettenartig aneinander gelötet sind. Werden die beiden freien Enden durch einen feuchten Leiter miteinander verbunden, so ist damit ein galvanisches Element einfachster Art gegeben, das einen Strom liefert, solange der Kreis geschlossen bleibt. Im vorliegenden Falle spielt der Nerv die Rolle des feuchten Leiters. Im Moment also, wo derselbe über die beiden Metallstreifen gelegt wird, wird ein Stromkreis geschlossen. Der Strom geht durch den Nerven und erregt ihn.

Seine Erregung läuft bis zum Muskel und liefert einen Reizimpuls für denselben, der Schenkel zuckt. Die galvanische Pinzette wird stets benutzt, um schnell zu prüfen, ob ein Nerv-Muskelpräparat, das man hergestellt hat, gut erregbar oder etwa bei der Präparation geschädigt worden ist. Nur wenn es bei Berührung mit der galvanischen Pinzette eine kräftige Reaktion gibt, ist es für Versuchszwecke zu verwenden.

Indirekte Reizung des Muskels mit einem konstanten Element. Die Reizung mit der galvanischen Pinzette ist eine sehr primitive und unvollkommene Methode. Zuverlässigere und konstantere Stromquellen für die Reizung liefern die konstanten galvanischen Elemente (siehe letztes Kapitel). Um ferner den Strom beliebig schließen und unterbrechen zu können, bedient man sich eines Quecksilberschlüssels (siehe letztes Kapitel), der es gestattet, zwischen zwei Drahtenden einen metallischen Kontakt herzustellen und aufzuheben. Die Anordnung des Versuches ist folgende. Ein Schenkelpräparat wird in der obigen Weise befestigt und sein Nerv über die Platinelektroden gelegt. Darauf wird ein DANIELLsches Element nur ganz wenig mit Kupfersulfat und verdünnter Schwefelsäure beschickt. Von dem positiven Pol, der „Anode“ (Kupfer), wird ein Draht zu der einen Klemmschraube eines Quecksilberschlüssels geleitet. Von der anderen Klemmschraube des Schlüssels führt man einen zweiten Draht zu der einen Klemmschraube eines Platinelektrodenpaares. Die andere Klemmschraube des Elektrodenpaares verbindet man direkt mit dem negativen Pol, der „Kathode“ (Zink), des DANIELLschen Elements. Ein Schema der ganzen Anordnung zeigt Fig. 74. Wird nunmehr der Stromkreis durch Senken des Hebels am Quecksilberschlüssel geschlossen, so tritt eine Zuckung im Schenkelpräparat ein. Während der Dauer des konstanten Stromes bleibt das Präparat in Ruhe. Wird dagegen der Stromkreis mittels des Schlüssels wieder geöffnet, so erfolgt eine neue Zuckung des Schenkels.

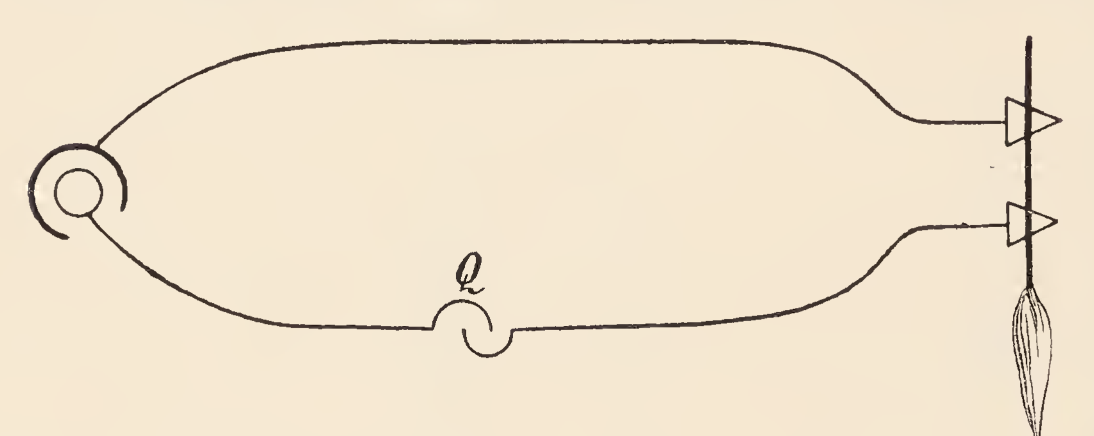


Fig. 74. Schema der Anordnung für die Reizung des Nerv-Muskelpräparates mit einem konstanten Strom. *Q* Quecksilberschlüssel.

Wirkung von Polarisationsströmen und ihre Vermeidung durch unpolarisierbare Elektroden. Zu dem folgenden Versuch

wird die letzte Anordnung direkt weiter benutzt. Nachdem man den konstanten Strom etwa 1 Minute lang durch den Nerven hat hindurchgehen lassen, wird der Strom geöffnet. Während der Nerv des Präparates unverschoben auf den Platinelektroden liegen bleibt, wird das DANIELLsche Element ganz aus dem Kreise entfernt und der freie Elektrodendraht mit der freigewordenen Klemmschraube des Quecksilberschlüssels verbunden, so daß die beiden Elektroden direkt durch eine Drahtverbindung miteinander einen Kreis bilden, in den der Quecksilberschlüssel eingeschaltet ist (Fig. 75). In diesem Kreise fehlt also das galvanische Element. Schließt man jetzt den Kreis durch den Quecksilberschlüssel, so zuckt das Präparat und man erhält eventuell beim Öffnen ebenfalls wieder eine Zuckung. Diese Zuckungen entstehen durch Reizung des Präparats mittels des „Polarisationsstromes“. Während der Zeit, als vorher der konstante Strom durch das Präparat ging, haben sich an den beiden Berührungsstellen der Metallelektroden mit dem Nerven, der einen feuchten Leiter vorstellt, wie in jeder Flüssigkeit, durch die ein konstanter Strom mit Metallelektroden hindurchgeleitet wird, also wie z. B. auch bei jedem inkonstanten Element, elektrolytische Zersetzungsprodukte (sog. „Polarisationsprodukte“) angehäuft, die ihrerseits, da sie eine entgegengesetzte Ladung haben, zu einem dem ursprünglichen Strome entgegengesetzten „Polarisationsstrom“ Anlaß geben. Schaltet man daher die ursprüngliche Stromquelle (das DANIELLsche Element) aus dem Kreise aus und schließt man den metallischen Kreis durch den Quecksilberschlüssel, so fließt in diesem Kreise noch immer der Polarisationsstrom und dieser ist es, der bei Schließung und Öffnung des Kreises den Nerven reizt.

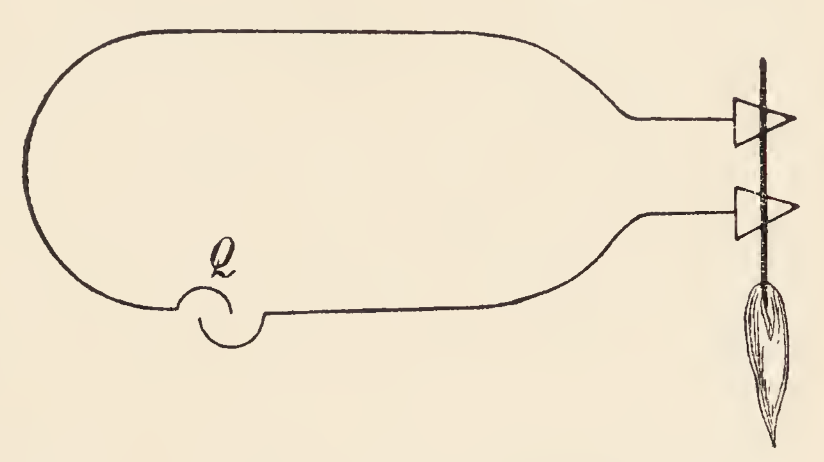


Fig. 75. Schema der Anordnung zur Demonstration der Polarisationsströme an den Elektroden. *Q* Quecksilberschlüssel.

Es liegt auf der Hand, daß diese Wirkung des Polarisationsstromes eine sehr große Fehlerquelle bei Versuchen vorstellen kann. Daher ist es nötig, eine Reizung des Präparats durch den Polarisationsstrom zu vermeiden. Das geschieht durch Benutzung von sog. „unpolarisierbaren“ Elektroden, die in mannigfaltigen Formen als Kombinationen von Metallen und Salzlösungen mit nichtmetallischen Elektroden konstruiert worden sind. Die bequemste und reinlichste Form ist die der Pinselelektroden (vgl. letztes Kapitel). Der obige Versuch wird nun in der gleichen Anordnung mit unpolarisierbaren

Pinselelektroden ausgeführt, indem man zunächst von dem DANIELLschen Element einen konstanten Strom einige Minuten durch das Präparat schickt und dann das Element wieder aus dem Kreise entfernt. Wird jetzt der Kreis mittels des Quecksilberschlüssels geschlossen und geöffnet, so erfolgt keine Zuckung mehr.

Indirekte Reizung des Muskels durch einzelne Induktionsschläge. Unterschied des Induktionsschließungsschlages und des Induktionsöffnungsschlages. Induktionsströme kann man erhalten entweder durch Elektroinduktion oder durch Magnetinduktion. Bei der Elektroinduktion schickt man durch eine primäre Spirale einen konstanten Strom und erhält dann in einer benachbarten sekundären Spirale im Moment der Schließung einen dem primären Strom entgegengesetzten, im Moment der Öffnung einen dem primären gleichgerichteten momentanen Induktionsstrom oder Induktionsschlag. Während der Dauer des konstanten Stromes ist die sekundäre Spirale stromlos. Der Induktionsschließungsschlag zeigt einen langsameren Intensitätsanstieg als der Induktionsöffnungsschlag, ein Unterschied, der auch in ihrer physiologischen Wirkung als Reiz zum Ausdruck kommt, indem der Öffnungsschlag stärker wirkt als der Schließungsschlag. Der Unterschied liegt bereits in dem primären Strom, wie man bei Schließung und Öffnung desselben am Quecksilberschlüssel bemerken kann. Bei Öffnung des primären Stromes bemerkt man an der Quecksilberoberfläche im Moment des Heraushebens des Schlüsselhebels einen kleinen Funken, beim Schließen bemerkt man nichts. Dieser Unterschied beruht auf dem Entstehen des sog. „Extrastromes". Es wird bekanntlich bei Schließung und Öffnung des konstanten Stromes einer primären Spirale nicht nur in einer benachbarten sekundären Spirale, sondern auch in den eigenen Windungen der primären Spirale ein Induktionsstrom erzeugt, der Extrastrom. Da dieser bei der Schließung dem primären Strom entgegengesetzt gerichtet ist, so verzögert er den Intensitätsanstieg des primären Stromes und also auch des Induktionsstromes in der sekundären Spirale. Bei der Öffnung dagegen ist der Extrastrom dem primären gleichgerichtet und infolgedessen fällt seine verzögernde Wirkung auf den Anstieg des Induktionsstromes in der sekundären Spirale weg. Bei der Magnetinduktion benutzt man statt des primären Stromes einen Magneten, den man plötzlich in die sekundäre Spirale hineinschiebt und aus ihr herauszieht oder einen weichen Eisenstab, den man durch Herumleiten eines konstanten Stromes magnetisch macht. Ein Magnet ist bekanntlich physikalisch zu betrachten als ein weiches Stück Eisen, um das ein konstanter Strom kreist, und zwar kreist dieser Strom, wenn man den Nordpol des Magneten von sich weg gerichtet hält,

im Sinne des Uhrzeigers. Diese Auffassung des Magneten macht es ohne weiteres klar, daß das Hineinschieben und das Herausziehen eines Magneten in eine und aus einer Spirale in dieser einen Induktionsstrom erzeugen muß, der natürlich im ersteren Falle dem im Magneten angenommenen Strome entgegengesetzt, im letzteren gleichgerichtet ist. Solange der Magnet in der Spirale steckt, ist selbstverständlich die Spirale stromlos.

1. Reizung des Präparats mit Elektroinduktionsströmen. Ein DANIELLsches Element wird auf dem Wege über einen Quecksilberschlüssel mit den beiden oberen Klemmschrauben der primären Spirale eines Schlitteninduktoriums verbunden (siehe letztes Kapitel). Von den beiden Klemmschrauben der sekundären Spirale werden Drähte zu den Klemmschrauben zweier Platinelektroden geleitet. Über die Elektroden wird der Nerv eines Schenkelpräparats gelegt, das in der gewöhnlichen Weise in einem Muskelhalter befestigt ist. Ein Schema der Anordnung gibt Fig. 76. Nunmehr wird die

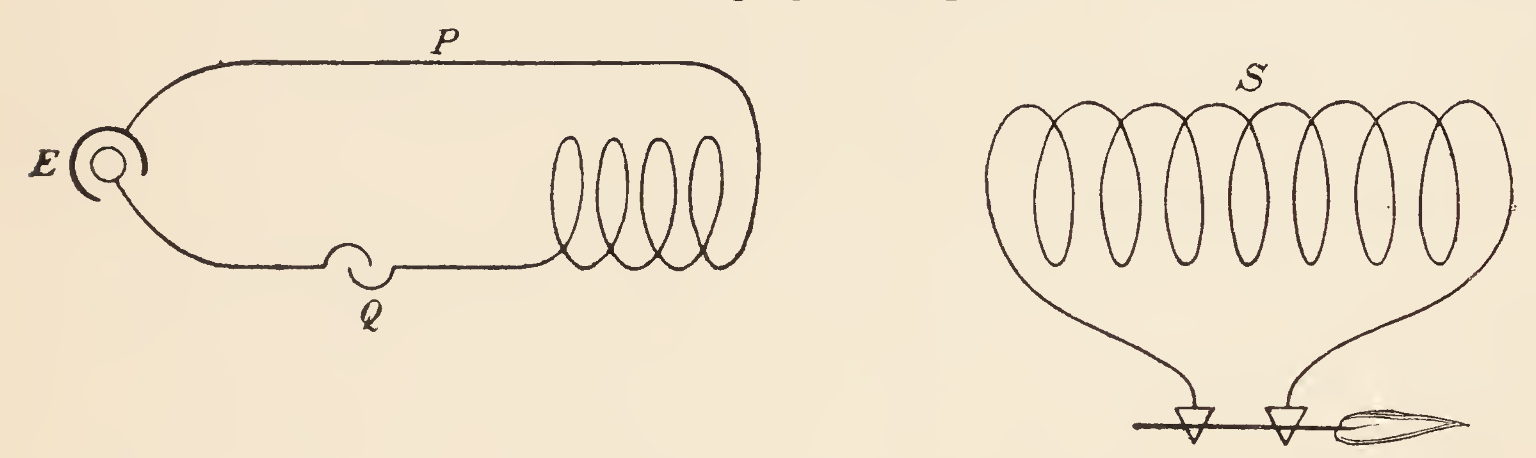


Fig. 76. Schema der Anordnung für Reizung mit Elektroinduktionsströmen. *E* Element, *Q* Quecksilberschlüssel, *P* primäre, *S* sekundäre Spirale.

sekundäre Spirale auf der Schlittenbahn soweit wie möglich von der primären Spirale entfernt. Indem man die sekundäre Spirale jetzt näher und näher an die primäre heranrückt, sucht man durch Schließen und Öffnen des primären Stromkreises den Rollenabstand zu finden, bei dem zuerst eine schwache Zuckung am Präparat auftritt. Hier ist der Punkt, wo die Reizstärke der Induktionsschläge den Grad der „Reizschwelle" („Schwellenwert") erreicht hat. Bei diesem Rollenabstand wirken nur die Induktionsöffnungsschläge, noch nicht die Induktionsschließungsschläge. Man überzeugt sich von der Verschiedenheit des Elektrizitätsausgleichs bei Schließung und Öffnung des primären Stromes am Quecksilberschlüssel. Bei Schließung erfolgt nichts, bei Öffnung ein Funke mit kleiner Detonation an der Berührungsstelle des Schlüsselhebels mit der Quecksilberoberfläche. Nun rückt man allmählich unter fortdauernder Schließung und Öffnung des primären Stromes die sekundäre Spirale immer näher an die primäre heran. Zunächst bleiben die Induktionsschließungsschläge am Präparat noch immer unwirksam. Erst bei bedeutend geringerem Rollen-

abstand fangen auch die Schließungsschläge an wirksam zu werden. Öffnungs- und Schließungsschläge liefern jetzt beide je eine kurze momentane Zuckung. Während der primäre Strom geschlossen bleibt, ist das Präparat völlig in Ruhe.

2. Reizung mit Magnetinduktionsströmen. Man nimmt nunmehr die sekundäre Spirale vom Schlitten herunter ohne ihre Verbindung mit den Elektroden zu lösen, und tut den übrigen Teil des Apparates nebst Schlüssel und Element beiseite. Darauf stößt man in den Hohlraum der sekundären Spirale plötzlich, d.h. mit einem kurzen Ruck einen Magnetstab hinein. Im Moment, wo der Magnet in den Hohlraum der Spirale hineinfährt, tritt eine Zuckung ein. Während der Magnet in der Spirale steckt, ist das Präparat wiederum in Ruhe. Zieht man jetzt den Magnetstab ebenso plötzlich wieder aus der sekundären Spirale heraus, so tritt wieder eine Zuckung ein.

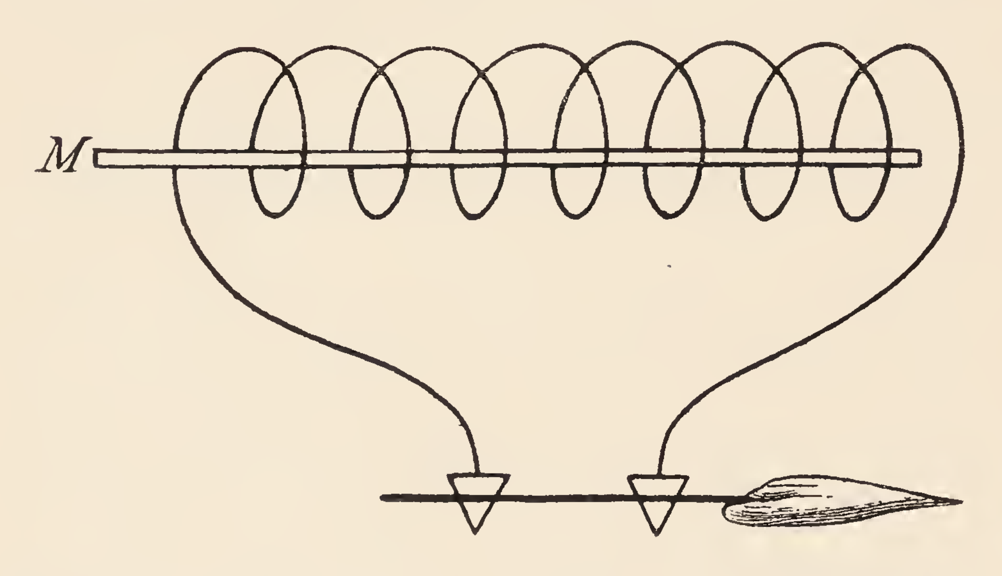


Fig. 77. Schema der Anordnung für Reizung mit Magnetinduktionsströmen. In die sekundäre Spirale wird plötzlich der Magnet *M* hineingeschoben.

Lähmung der motorischen Nervenendapparate durch Curarevergiftung. Direkte Reizung des Muskels. Ein Frosch wird in Bauchlage auf einer dicken Korkplatte mit Stecknadeln festgesteckt und zwar so, daß die Extremitäten straff gespreizt sind. Die Stecknadeln (große Stahlnadeln mit schwarzen Köpfen) müssen durch die Arm- und Fußgelenke unter spitzem Winkel schräg nach außen gerichtet sein, damit der Frosch seine Extremitäten nicht anziehen kann. Darauf wird an der Rückenseite des einen Oberschenkels die Haut mit einer Hakenpinzette hochgehoben und mit einer Schere ein Zirkelschnitt rings durch die Haut etwa um die Mitte des Oberschenkels gemacht. Mit zwei Pinzetten werden nun die Muskeln zu beiden Seiten der großen Furche, in welcher der Ischiadicus läuft, auseinander gezogen, so daß der Nerv und die neben ihm liegende Arterie und Vene sichtbar werden. Dann wird die Arterie recht hoch oben am Schenkel unterbunden, indem ein Schlingenführer unter sie geschoben und mit Hilfe desselben ein nasser Faden unter ihr durchgezogen und zugeschlungen wird. Daß es die Arterie ist und nicht die Vene, die man unterbunden hat, davon kann man sich dadurch überzeugen, daß das Gefäß sich ober-

halb der Unterbindungsstelle mit Blut füllt, unterhalb aber blutleer wird. Nunmehr schneidet man die Arterie unterhalb der Unterbindungsstelle durch und die Fäden ab. Ebenso schneidet man mit der Schere die Vene und sämtliche Muskeln rings um den ganzen Oberschenkel quer durch, so daß nur noch der Oberschenkelknochen und der Nerv die Verbindung vom Körper zur unteren Extremität vermitteln. Der Knochen wird auf eine kleine Strecke von etwa 1 cm von den Muskeln befreit und die Wundränder mit der Schere glatt und sauber zugeschnitten. Ein etwaiger kleiner Bluterguß aus den Muskeln wird sorgsam abgetupft. Schließlich macht man dem Frosch am oberen Teil seiner Rückenhaut einen kleinen Einschnitt und injiziert ihm hier in den Rückenlymphsack einige Tropfen einer 1 proz. Curarelösung (siehe oben p. 94). Dann setzt man ihn in ein mit etwas physiologischer Kochsalzlösung benetztes Glasgefäß und wartet, bis das Curare seine lähmende Wirkung entfaltet hat, was nach etwa 20—30 Minuten der Fall ist. Inzwischen verbindet man die Pole eines DANIELLschen Elements durch Vermittelung eines Quecksilberschlüssels mit den beiden unteren Klemmschrauben eines Schlitteninduktoriums, die durch den NEEFschen Hammer zur primären Spirale leiten, und befestigt die Elektroden mit leitenden Schnüren an den Klemmschrauben der sekundären Spirale. Die Elektroden werden aus ihrem Stativ herausgenommen und mit der Hand dirigiert. Ist der Frosch gelähmt, so reizt man, indem man den primären Stromkreis schließt und den NEEFschen Hammer spielen läßt, mit einem faradischen Induktionsstrome von mittlerer Stärke die Rumpfhaut des Frosches auf der Seite des nicht operierten Beines. Der Strom muß so lange verstärkt werden, bis eine Reflexreaktion eintritt. Man bemerkt dann, daß der Frosch, wenn man seine Hinterextremitäten an den Körper angelegt hat, bei jeder Reizung eine heftige Streckung des operierten Beines ausführt, während die Muskeln der nicht operierten Körperseite vollkommen in Ruhe bleiben, obwohl der Reiz auf ihrer Seite einwirkt. Daraus geht hervor, daß das Curare nicht die sensiblen Nerven, nicht das Zentralorgan und auch nicht die motorischen Nerven gelähmt haben kann, denn letztere sind ja in ihrem oberen Teil ebenfalls noch der Curarewirkung ausgesetzt. Es kann also die Lähmung nur an peripherischen Teilen lokalisiert sein. Hat man sich von alledem mehrmals durch Auslösung von Reflexreaktionen (eventuell auch durch mechanische Reizung der Haut mittels einer Pinzette) überzeugt, so stellt man von der nicht operierten, also der Curarewirkung ausgesetzten Extremität ein Nervmuskelpräparat her in der gewöhnlichen oben (p. 145) beschriebenen Weise. Dieses Präparat befestigt man in einem Muskelhalter und reizt es zunächst indirekt durch den Nerven, indem man

die Platinelektroden an den letzteren anlegt. Es tritt keine Reaktion im Schenkel auf. Man kann die Reizintensität durch Übereinanderschieben der Rollen des Schlitteninduktoriums bis zum Maximum steigern, die Muskeln des Schenkels bleiben völlig in Ruhe (dabei hat man natürlich das Übergreifen von Stromschleifen vom Nerven auf den Muskel zu vermeiden, indem man die Elektroden möglichst weit entfernt vom Muskel anlegt, da sonst der Muskel direkt von den Stromschleifen gereizt wird). Legt man dagegen die Elektroden direkt an den Muskel an, so tritt sofort eine heftige Kontraktion ein. Daraus geht also hervor, daß die Muskelsubstanz selbst erregbar und nicht vom Curare gelähmt ist. Da auch, wie der operierte Schenkel gezeigt hat, der motorische Nerv selbst nicht vom Curare gelähmt wird, so kann der Angriffspunkt für die lähmende Wirkung des Curare nur da gelegen sein, wo der motorische Nerv in die Muskelsubstanz übergeht, d. h. an den motorischen Nervenendapparaten.

B. Die Muskelkontraktion.

Theoretische Vorbemerkungen. Die Kontraktion des Muskels besteht in seiner Verkürzung und Verdickung ohne Volumenänderung. Dieser Vorgang ist bereits an den mikroskopischen Muskelsegmenten der Primitivfibrillen zu sehen, aus denen jede Muskelfaser besteht. In den Muskelsegmenten werden durch den Reiz diejenigen chemischen Prozesse ausgelöst, deren physikalischer Ausdruck der Kontraktionsakt ist.

Auf einen Einzelreiz (z. B. Induktionsschlag) erfolgt eine kurze „Einzelzuckung", nach deren Ablauf der Muskel sich sofort wieder streckt, d. h. zu seiner Ruhegestalt zurückkehrt. Die Höhe der Einzelzuckung („Hubhöhe") hängt ab von der Reizstärke. Prüft man mit ganz schwachen Reizen (Induktionsöffnungsschlägen), so sind sie noch unwirksam, steigert man allmählich die Reizstärke, so gelangt man an einen Punkt, an dem eben eine merkliche Bewegung des Muskels erfolgt. Hier liegt die Reizschwelle. Steigert man die Reizintensität weiter, so nimmt die Höhe der Muskelzuckung immer mehr zu bis zu einem Maximum. Die Zuckungen, die unterhalb dieser Grenze liegen, sind „submaximale" Zuckungen und die entsprechenden Reizstärken repräsentieren „submaximale" Reize. Alle Zuckungen und Reize oberhalb dieser Grenze sind „maximale" Zuckungen und Reize. Die Herzmuskulatur nimmt in dieser Hinsicht eine Sonderstellung ein. Sie liefert von der Reizschwelle an immer maximale Zuckungen, gleichgültig ob die Reize stark oder schwach sind, wenn sie nur überhaupt über der Schwelle liegen. Der Herzmuskel folgt dem „Alles- oder Nichtsgesetz". Er ist ein „isobolisches System". Verzeichnet man den Ablauf einer Einzelzuckung des Muskels graphisch mittels eines Myographions (Pendelmyographion, Schleudermyographion, Federmyographion usw.), welches gestattet, die Schreibfläche schnell vor der Spitze des Muskelschreibhebels vorbeizuführen, so erhält man eine Zuckungskurve, an der man 1. das Stadium der latenten Reizung, 2. den aufsteigenden Schenkel und 3. den absteigenden Schenkel unterscheidet. Das Stadium der latenten Reizung ist die Zeit, welche vergeht vom Moment der Reizung bis zum Moment

des Eintritts der Verkürzung des Muskels. Bei indirekter Reizung hängt die Dauer des Latenzstadiums natürlich ab von der Länge der Nervenstrecke, die zwischen der Reizstelle und dem Muskel liegt. Man kann daher die Differenz in der Latenzzeit bei zwei verschieden weit vom Muskel entfernt am Nerven angebrachten Reizungen benutzen, um die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Nerven zu messen. Der aufsteigende Schenkel der Zuckungskurve repräsentiert bis zu seinem Gipfel das Stadium der zunehmenden Energieproduktion resp. der steigenden dissimilatorischen Erregung, der absteigende Schenkel das Stadium der abnehmenden Energieproduktion oder sinkenden dissimilatorischen Erregung. Schon während der Zuckung des Muskels aber, also schon während der dissimilatorischen Erregung, steigt infolge der Selbststeuerung des Stoffwechsels bereits auch die Assimilation, d. h. die Restitution der durch den Reiz zum dissimilatorischen Zerfall gebrachten lebendigen Substanz. Diese assimilatorische Erregung überwiegt während des absteigenden Schenkels über die dissimilatorische Erregung und dauert auch nach Ablauf der Zuckung noch kurze Zeit an, bis das Stoffwechselgleichgewicht wieder hergestellt ist. Richtet man es so ein, daß Reize den Muskel in kürzeren Abständen treffen, als die für die Restitution erforderliche Zeit beträgt, so entwickelt sich nach einiger Zeit fortdauernd wiederholter Reizung ein Zustand der Arbeitslähmung, indem der Muskel auf jeden folgenden Reiz mit einer immer schwächeren Energieproduktion reagiert, bis er schließlich vollständig gelähmt ist und gar nicht mehr reagiert. Dieser Zustand beruht einerseits auf der Ermüdung, andererseits auf der Erschöpfung der lebendigen Substanz des Muskels. Die Ermüdung besteht in der Anhäufung von Stoffwechselprodukten, welche eine lähmende Wirkung entfalten und im wesentlichen Produkte unvollkommener Verbrennung sind („Ermüdungsstoffe“). Die Erschöpfung beruht auf dem Verbrauch und ungenügenden Wiederersatz der reaktionsfähigen Atomgruppen der lebendigen Substanz, in erster Linie des Sauerstoffs. Beide Vorgänge, Ermüdung und Erschöpfung, gehen im physiologischen Geschehen immer Hand in Hand, denn in dem Maße, wie der Sauerstoffersatz ungenügend wird, häufen sich die lähmenden Produkte unvollkommener Verbrennung an. Eine Erholung erfolgt im normalen Körper durch den Blut- und Lymphstrom. Blut und Lymphe führen dem Muskel die Ersatzstoffe (Sauerstoff und organische Nahrungsstoffe) wieder zu. Der Sauerstoff oxydiert die angehäuften Ermüdungsstoffe zu CO_2 und H_2O und diese werden durch den Lymph- und Blutstrom wieder fortgeschafft. Der Ablauf der Zuckungskurve verändert sich mit zunehmender Arbeitslähmung des Muskels immer mehr. Während anfangs im Beginn einer rhythmisch verlaufenden Folge von Einzelzuckungen die Hubhöhen infolge einer geringen aber allmählich mehr und mehr bemerkbaren Verlangsamung des Ablaufs der Kontraktionswelle mit jeder folgenden Erregung etwas zunehmen, so daß die sog. „Treppe“ entsteht, werden die Hubhöhen im späteren Verlauf der Zuckungen allmählich niedriger. Zugleich wird der absteigende Schenkel der Zuckungskurven namentlich in seinem unteren Teil immer mehr verzögert, entsprechend der immer mehr verlangsamten Erholung. Infolgedessen trifft der nächste Reiz den Muskel, ehe er sich vollständig gestreckt hat und so entwickelt sich immer mehr ein Verkürzungsrückstand, die sog. „Kontraktur“, indem der Muskel

nicht mehr genügend Zeit findet, sich zwischen zwei Reizen vollständig wieder zu strecken. Eine ganz enorme Verzögerung des absteigenden Schenkels, die der Kontraktur des arbeitslahmen Muskels entspricht, zeigt sich bei Muskeln von Fröschen, die man mit Veratrin vergiftet hat.

Läßt man die Reize an einem frischen Muskel so schnell aufeinander folgen, daß sie immer schon in den Beginn des absteigenden Schenkels der Zuckungskurve fallen, so tritt eine „Summation der Einzelzuckungen" ein, die man als „unvollkommenen Tetanus" bezeichnet. Dabei erhebt sich jede der ersten Zuckungen über den Gipfelpunkt der vorhergehenden, es findet eine „Superposition" der Zuckungen statt, bis eine bestimmte Höhe erreicht ist, auf der sich die Kurve hält und auf der die Einzelzuckungen noch durch kleine Zacken erkennbar sind. Der Muskel kontrahiert sich also hier infolge der Superposition der Einzelzuckungen viel stärker, als es bei Anwendung eines maximalen Einzelreizes je erreicht werden kann. Die tetanische Kontraktion steigt stets viel höher als die maximale Einzelzuckung. Läßt man die Reize so schnell aufeinander folgen, daß sie den Muskel treffen, noch ehe er seine Expansionsphase begonnen hat, so kommen die Einzelzuckungen überhaupt nicht mehr an der Kurve zum Ausdruck, sondern die Kurve steigt in kontinuierlicher Linie bis zu einer bestimmten Höhe an und hält sich dann auf dieser Höhe, bis sie anfängt, infolge der Arbeitslähmung abzusinken. Das ist der „vollkommene Tetanus". Daß es sich aber auch beim vollkommenen Tetanus trotz der kontinuierlichen Dauer der Kontraktion um einen diskontinuierlichen Vorgang handelt, geht hervor aus dem „Muskelton", den man wahrnimmt, wenn man das Ohr direkt oder mit einem Stethoskop an einen tetanisch kontrahierten Skelettmuskel anlegt. Ein Ton kann bekanntlich nur durch rhythmisch intermittierende Vorgänge erzeugt werden. Aus der Höhe des Tones kann man ferner die Zahl der ihn zusammensetzenden Einzelbewegungen ermitteln, und so hat man für den Skelettmuskel des Menschen, wenn er vom Gehirn aus „willkürlich" in tetanische Kontraktion versetzt wird, gefunden, daß er im Maximum 20—50 Kontraktionsimpulse in der Sekunde erhält. Der Mensch kann nicht mehr als 50mal in der Sekunde „wollen".

Graphische Verzeichnung der Muskelzuckung mit dem du Bois-Reymondschen Federmyographion. Messung des Latenzstadiums. Das Federmyographion von du Bois-Reymond (Fig. 78) besteht aus einem festen Stativ, an dem sich ein Muskelhalter, ein Schreibhebel mit Stirnschreiber, eine auf einem Schlitten bewegliche Glastafel als Schreibfläche, ein Metallhebelkontakt mit Klemmschrauben für Stromschließung und -öffnung, sowie eine horizontale Stimmgabel mit Schreibspitze befindet. Der Apparat wird in folgender Weise benutzt. Der Schenkelknochen eines Gastrocnemiuspräparates (siehe oben p. 148) wird in dem Muskelhalter befestigt, während der Schreibhebel durch einen kleinen Haken mit der Achillessehne verbunden wird. Durch eine Stellschraube wird zunächst der Stirnschreiber des Schreibhebels noch von der Schreibfläche zurückgezogen. Die Glasplatte wird über der Petroleum-Terpentinflamme schwach berußt und in dem Schlitten befestigt. Der Metallhebel-

kontakt, der so angebracht ist, daß der Schlitten mit seiner unteren Rahmenecke an den einen Hebelarm anstoßen und den Kontakt öffnen muß, wenn er bei geschlossenem Kontakt aus seiner Arretierung herausschnellt, wird zunächst geöffnet und der Schlitten in seine Arretierung hineingedrückt. Die beiden Puffer (hier nicht gezeichnet) auf der Gleitbahn des Schlittens werden ein wenig nach dem Schlitten hin vorgeschoben, damit der Schlitten beim Losschnellen nicht zurückgeschleudert werden kann. Dann wird der Kontakt mit seinen beiden Klemmschrauben in den primären Stromkreis eines Schlitteninduktoriums (obere Klemmschrauben, kein NEEFscher Hammer, ein DANIELLsches Element) eingeschaltet und geschlossen. Von den

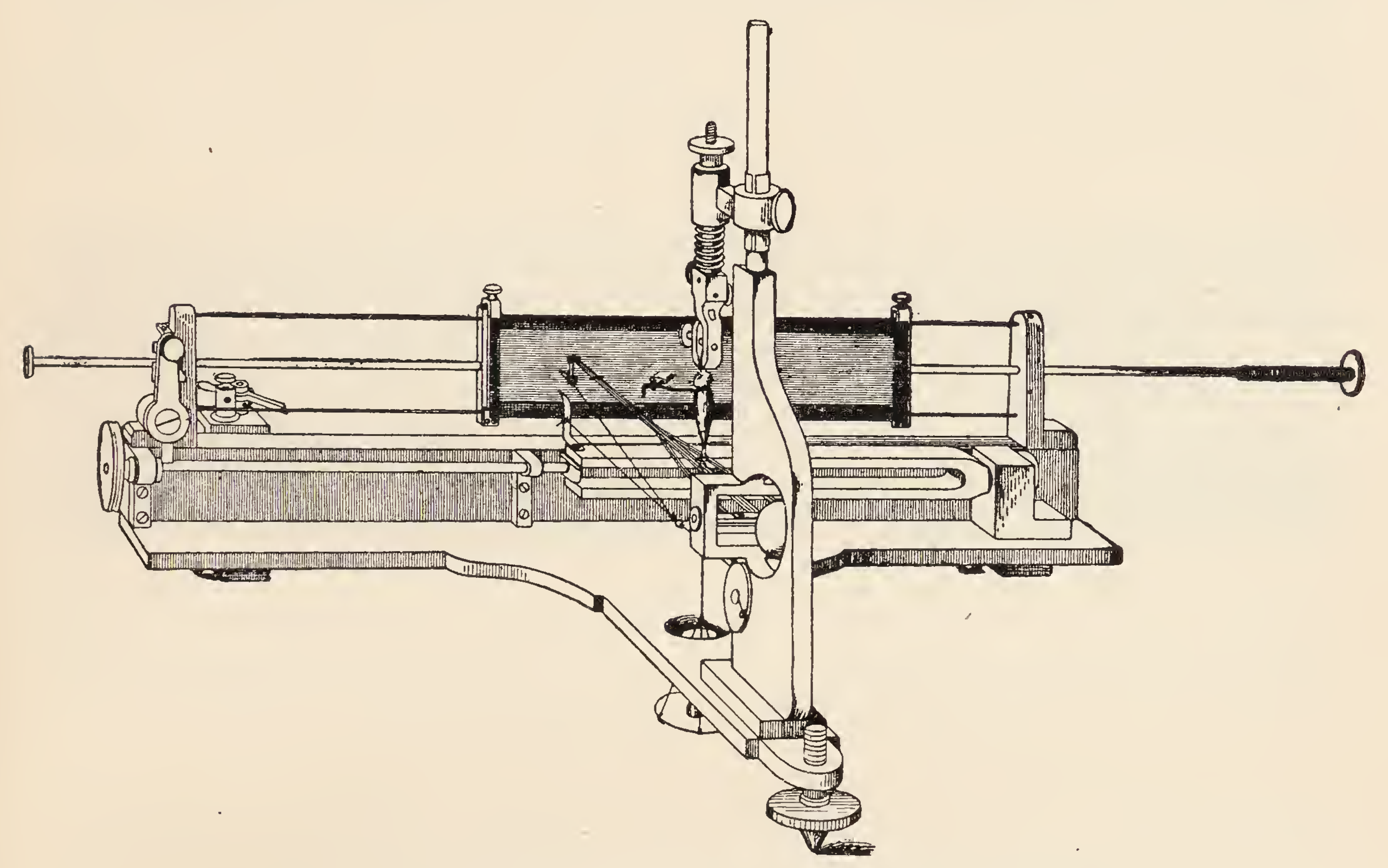


Fig. 78. DU BOIS-REYMONDS Federmyographion.

Klemmschrauben der sekundären Spirale werden zwei Drähte zu einem Platinelektrodenpaar geleitet, das auf einem beweglichen Stativ so an das Nervmuskelpräparat herangeschoben wird, daß der Nerv des letzteren über die Elektroden herübergelegt werden kann. Ist das geschehen, so ist der Nerv im sekundären Stromkreise. (Die ganze Anordnung folgt dem Schema von Fig. 76, p. 153, nur ist statt des Quecksilberschlüssels der Hebelkontakt im primären Stromkreise.) Nachdem sodann der Muskel ein wenig gespannt und auf der an ihm hängenden Wagschale mit einem Gewicht von 10—20 g belastet worden ist, wird die Schreibspitze des Stirnschreibers an die Glastafel angerückt und es wird durch Schließen und Öffnen des primären Stromes mit dem Hebelkontakt geprüft, ob der Muskel zuckt und ob der Stirnschreiber bis zu genügender Höhe hinauf an

der Glastafel schreibt. Ist das der Fall, so schließt man den Metallkontakt wieder, löst die Arretierung der Tafel durch den dazu angebrachten Hebel aus, während man gleichzeitig die Tafel mit der anderen Hand noch am Fortschleudern verhindert, und führt die Tafel ganz langsam auf der Schlittenbahn entlang nach dem anderen Ende derselben hinüber. Dabei schreibt die Schreibspitze des Stirnschreibers eine horizontale Linie und auf dieser erhebt sich im Moment, wo die Tafel den Metallkontakt des primären Stromes öffnet, eine vertikale Marke, weil der Muskel infolge des Induktionsöffnungsschlages zuckt. Diese vertikale Marke gibt also bei ganz langsamer Vorbeiführung der Tafel den Moment des Reizes an. Ist die horizontale Linie geschrieben und der Reizmoment auf derselben markiert, so führt man die Tafel wieder in ihre Arretierung zurück, schließt den Kontakt wieder, rückt die Puffer vor und schiebt schließlich die Sperrvorrichtung mittels der langen unmittelbar mit dem Arre-

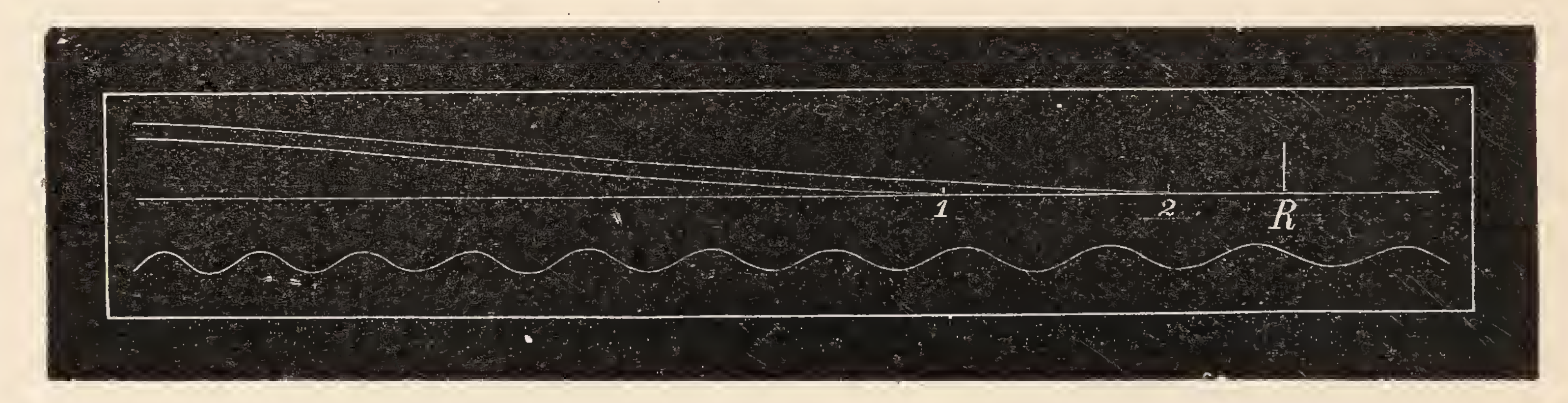


Fig. 79. Kurven, gezeichnet mit dem DU BOIS-REYMONDschen Federmyographion. Auf der horizontalen Linie erheben sich die Anfangsteile der Kurven von zwei nacheinander verzeichneten Zuckungen *1* und *2*, entsprechend der Lage der Elektroden in Fig. 80. *R* Reizmoment, *R*—*1* und *R*—*2* Latenzstadien. Darunter Stimmgabelkurve. Die Kurve ist von rechts nach links zu lesen.

tierungshebel unten sich berührenden Stange zwischen die beiden Stimmgabelzinken, von denen die eine mit ihrer Schreibspitze die Schreibfläche berührt. Nunmehr ist alles zum Versuch fertig vorbereitet. Indem man jetzt die Arretierung des Schlittens auslöst, zieht der dazu angebrachte Hebel unten zugleich die Sperrvorrichtung der Stimmgabel zurück, die Stimmgabel schwingt und schreibt ihre Schwingungen mit ihrer Schreibspitze auf der Schreibfläche auf, die indem sie vorbeischnellt, gleichzeitig den Metallkontakt öffnet, so daß der Muskel gereizt wird und mit der Spitze seines Schreibhebels seine Zuckungskurve ebenfalls auf der vorüberschnellenden Glastafel verzeichnet. So gestattet der sinnreiche Apparat durch einen einzigen Hebeldruck gleichzeitig die Tafel vorbeischleudern, die Stimmgabel zur Schwingung zu bringen und den Muskel zucken zu lassen. Nimmt man nach Beendigung der Verzeichnung die Glastafel aus ihrem Rahmen vorsichtig heraus und betrachtet sie gegen das Licht, so bemerkt man folgendes. Auf der horizontalen Linie ist zunächst der

Reizmoment *R* markiert. Die Muskelzuckungskurve, die gewöhnlich nur in ihrem aufsteigenden Schenkel auf der Tafel verzeichnet wird, beginnt sich aber nicht im Moment der Reizung, sondern erst eine Strecke weiterhin von der Horizontalen abzuheben, d. h. die Zuckung (Verkürzung) des Muskels beginnt nicht im Moment der Reizung, sondern erst eine kurze Zeit später. Man markiert die Stelle, wo die Kurve sich von der Horizontalen abzuheben beginnt, mit einer Nadel durch eine vertikale Marke (*1*). Die Strecke zwischen dieser Marke und dem Reizmoment entspricht der Dauer des Latenzstadiums. Mittels der Stimmgabelschwingungen, die unter der Horizontalen in Form einer Wellenlinie verzeichnet sind, kann die Dauer des Latenzstadiums leicht gemessen werden, denn die Zahl der Stimmgabelschwingungen in der Sekunde ist bekannt. Angenommen, sie beträgt 300, so würde eine ganze Schwingung $^1/_{300}$ Sekunde entsprechen. Wenn die Kurve schließlich auf der Tafel fixiert ist, kann man eine genauere Ausmessung der dem Latenzstadium entsprechenden Strecke der Stimmgabelkurve vornehmen und so die Zeit des Latenzstadiums berechnen. Sie beträgt bei direkter Reizung des Muskels etwa 0,0025—0,01 Sekunde. Die Verzeichnung der Stimmgabelschwingungen zeigt übrigens im Beginn sehr langgezogene, im weiteren Verlauf immer enger werdende Wellenlinien. Das beruht selbstverständlich darauf, daß die Tafel infolge der Reibung sich mit abnehmender Geschwindigkeit bewegt. Daher dürfen gleich lange Strecken der Zuckungskurve nicht auf gleiche Zeitwerte bezogen werden. Dieser Fehler, der allen Myographien mehr oder weniger anhaftet, würde empfindlich sein, wenn er nicht völlig gegenstandslos gemacht würde eben durch die Verzeichnung der Stimmgabelkurven, von denen jede Schwingung ja stets die gleiche Dauer hat, gleichgültig ob sie graphisch in die Länge gezogen oder verkürzt erscheint. Man kann schließlich das Federmyographion benutzen für eine annähernde Bestimmung der Erregungsleitungsgeschwindigkeit im Nerven. In diesem Falle führt man den obigen Versuch zweimal hintereinander aus, indem man auf derselben horizontalen Linie zwei Zuckungskurven verzeichnet, die eine, die man erhält, wenn der Nerv des Nervenmuskelpräparats ganz nahe dem Muskel über die Elektroden gelegt ist (*2*), die andere, die man erhält, wenn der Nerv möglichst nahe am Ende (*1*) gereizt wird. Nun mißt man einerseits die Strecke zwischen beiden Reizstellen am Nerven und berechnet andererseits mit Hilfe der entsprechenden Stimmgabelkurven die Differenz in der Latenzzeit bei beiden Zuckungen. Die letztere Zahl gibt die Dauer der Erregungsleitung innerhalb der gemessenen Nervenstrecke an. Daraus läßt sich ohne weiteres die Geschwindigkeit pro Stunde berechnen. Sie beträgt beim Froschnerven

etwa 27 m, beim Menschen nach neueren Bestimmungen etwa 123 m in der Sekunde.

Graphische Verzeichnung der Arbeitslähmung des ausgeschnittenen Froschmuskels (Ermüdung und Erschöpfung). Zur Reizung dienen die Öffnungsinduktionsschläge eines Schlitteninduktoriums bei geeignetem Rollenabstand. Man läßt dieselben in rhythmischen Intervallen von 1 Sekunde aufeinander folgen, indem man in den primären Stromkreis (obere Klemmschrauben des Induktoriums unter Umgehung des NEEFschen Hammers) statt eines Quecksilberschlüssels ein mit einem Quecksilberkontakt verbundenes Metronom einschaltet. Die ganze Anordnung folgt also dem Schema Fig. 76, p. 153, nur ist statt des gewöhnlichen Quecksilberschlüssels der Quecksilberkontakt des Metronoms im primären Stromkreis. Dieses Metronom ist so eingerichtet, daß es an seiner Pendelstange einen nach vorn vorgerückten horizontalen Querbalken aus Metall trägt, unter dem sich zwei Quecksilbernäpfchen befinden, und zwar eins in der Mittelachse des Metronoms, eins an der Seite. Über beiden Quecksilbernäpfchen trägt der Querbalken einen Metallstift. Der in den mittleren Napf eintauchende bleibt beständig im Quecksilber, der über dem seitlichen Napf befindliche taucht im Rhythmus der Metronomschläge in das Quecksilber ein und wieder aus. Die Quecksilbernäpfe sind mit Klemmschrauben versehen, durch die sie in den primären Stromkreis wie ein gewöhnlicher Quecksilberschlüssel eingeschaltet werden können. Ist das der Fall und läßt man das Metronom gehen, so wird der primäre Strom durch den Metallquerbalken mit seinen beiden Stiften im Rhythmus der Metronomschläge geschlossen und geöffnet, und man kann die Frequenz der Reize variieren durch Verstellung des Schiebers an der Pendelstange des Metronoms. Als Stromquelle dient ein DANIELLsches Element. Das Nervmuskelpräparat (Gastrocnemiuspräparat) wird befestigt in einer feuchten Kammer, die aus einer horizontalen, an einem Stativ befindlichen Hartgummiplatte mit darüberstülpbarem viereckigem Glaskasten besteht. Die Hartgummiplatte trägt an ihrer oberen Seite ein Platinelektrodenpaar *E*, das

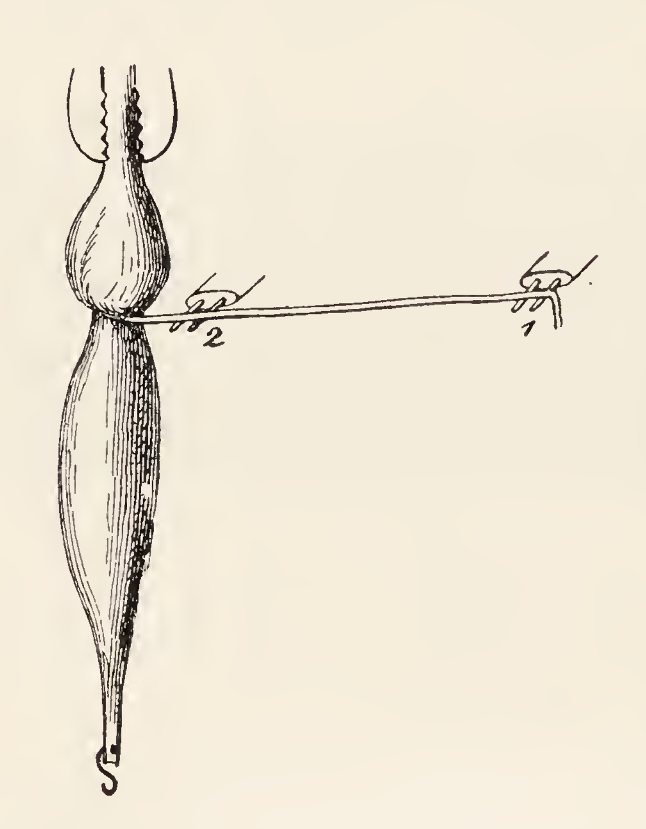


Fig. 80. Lage der Elektroden am Nerven bei der Bestimmung der Erregungsleitungsgeschwindigkeit im Nerven. Vgl. dazu die entsprechenden Kurven auf Fig. 79.

mit zwei Klemmschrauben an der Außenseite der Kammer in Verbindung steht, und ferner einen Muskelhalter, unter dem sich in der Platte ein kreisförmiges Loch befindet. Durch das letztere ragt der Muskel mit seiner Achillessehne nach unten hindurch und wird von hier aus mittels eines kleinen Hakens und Fadens mit einem am Stativ angebrachten Schreibhebel verbunden und mit einem Gewicht von etwa 10 g belastet. Der Nerv *N* des Präparats wird über die Platinelektroden *E* der Kammer gelegt und der Glaskasten wird, nachdem er innen an der Decke mit feuchtem Fließpapier belegt ist, über die Hartgummiplatte gestülpt. Auf diese Weise wird das Eintrocknen des Nerven und seine Folgen bei einer längeren Versuchsreihe vermieden. Ist die feuchte Kammer auf diese Weise beschickt, so werden ihre Klemmschrauben mit der sekundären Spirale des Schlitten-

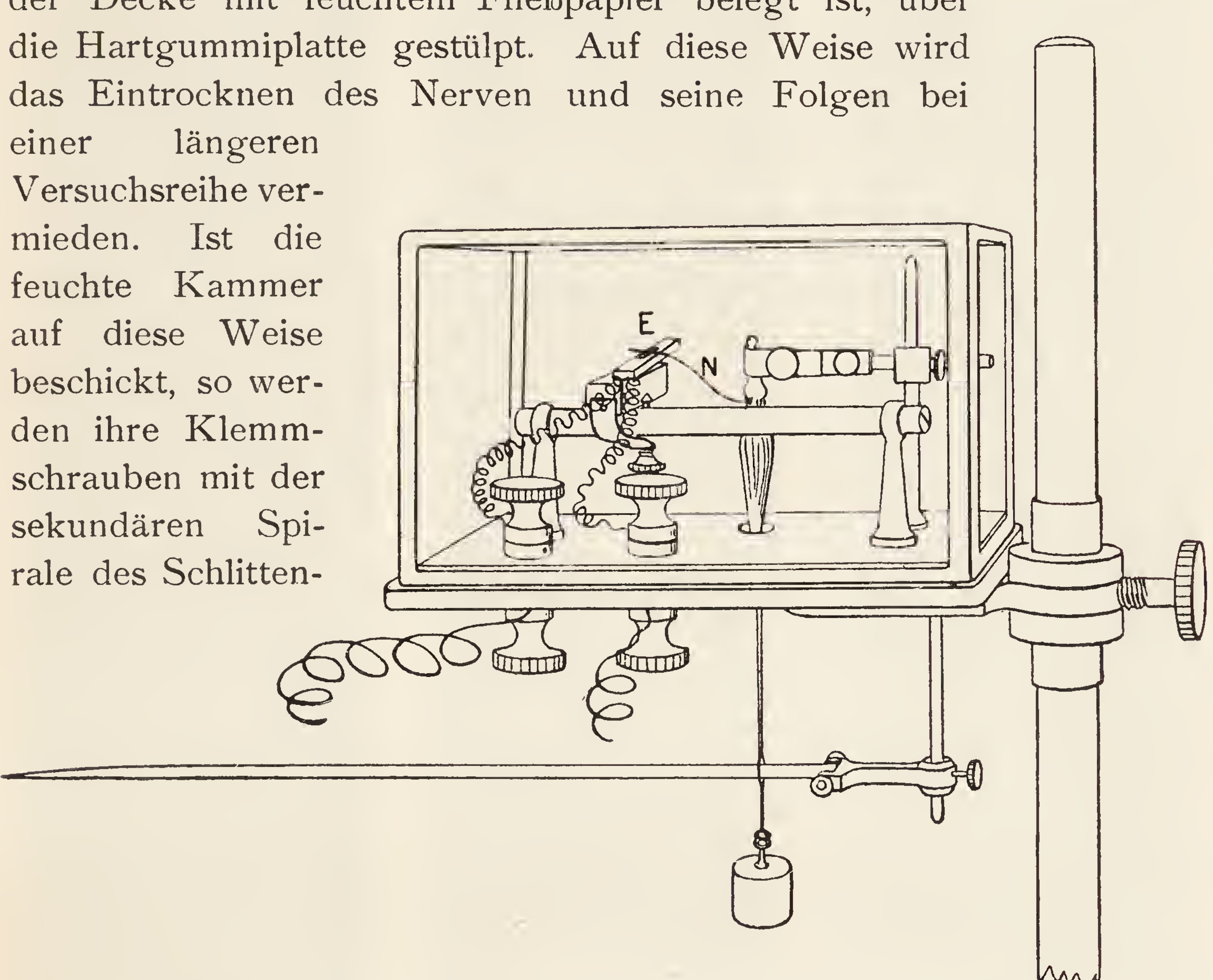


Fig. 81. Cambridger Kammer. *E* Elektroden, *N* Nerv.

induktoriums verbunden. Schließlich wird die Spitze des Schreibhebels möglichst spitzwinklig an die Schreibfläche einer gewöhnlichen Kymographiontrommel angelegt, und zwar so, daß sie nach der Seite gerichtet ist, nach der sich die Trommel dreht. Ist alles dieses vorbereitet, so zieht man eine horizontale Linie, indem man die Trommel mit der Hand an der Schreibspitze vorbeidreht und läßt dann die Trommel mittels ihres Uhrwerks langsam laufen. Gleichzeitig wird die Metronomstange aus ihrer Arretierung ausgelöst, so daß das Metronom spielen kann. Bei jeder Öffnung und Schließung liefert der Muskel eine Zuckungskurve auf der Schreibfläche, deren aufsteigender und absteigender Schenkel je nach der Drehungsgeschwindigkeit der Trommel mehr oder weniger nahe aneinander liegen. Indem der Muskel ganz

a

b

c

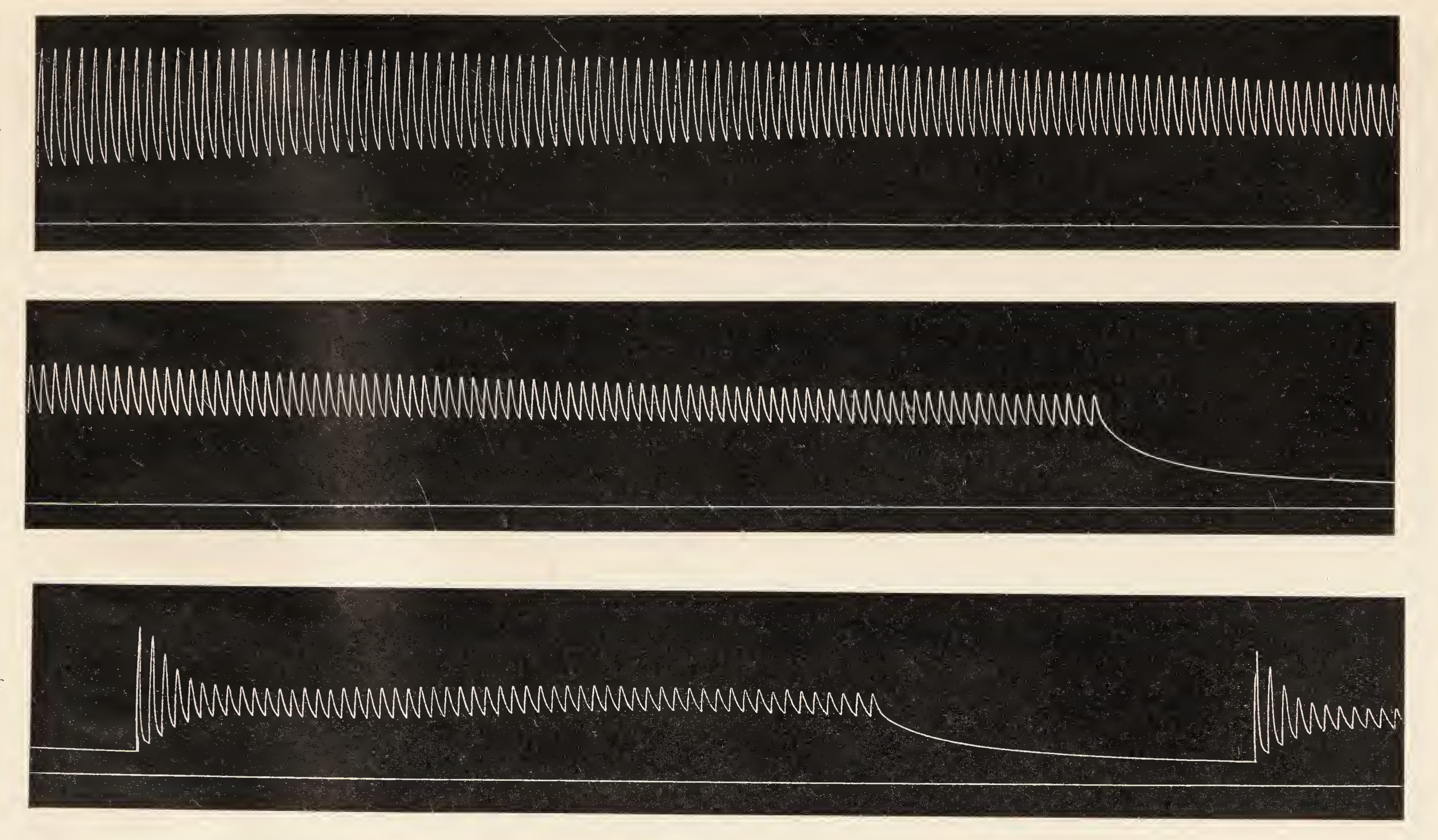


Fig. 82. Kurve der Arbeitslähmung des isolierten Froschmuskels (in 6 Teile zerschnitten). Bei *a* und *b* ist die allmähliche Entwicklung der „Treppe“ deutlich zu sehen. Bei *c* und *d* entwickelt sich die Kontraktur. Bei *e* sind die Zuckungen schon sehr klein geworden, die Reizung wird unterbrochen, der Muskel erholt sich. Bei *f* Wiederbeginn der Reizungen. Die Ermüdung erfolgt jetzt sehr schnell. Nach erneuter Unterbrechung der Reizung und Erholung wird ein drittes Mal mit den Reizungen begonnen.

rhythmisch mit der Regelmäßigkeit einer Maschine arbeitet, zeichnet er eine lange Folge von Zuckungskurven über der Horizontalen auf, an deren Verlauf man die Veränderungen, welche sich im Laufe der Arbeit als Wirkungen der Ermüdung und Erschöpfung des Muskels bemerkbar machen, bequem studieren kann (Fig. 82 umstehend). Man sieht zuerst die Erscheinung der Treppe sich entwickeln, dann bemerkt man die Verlangsamung der Erschlaffung mit zunehmender Arbeitslähmung an der Verzögerung des Absinkens der unteren Partie des absteigenden Kurvenschenkels und die immer deutlicher sich ausbreitende Kontraktur, und schließlich beobachtet man die allmähliche Abnahme der Hubhöhe an dem Niedrigerwerden der einzelnen Zuckungskurven, bis endlich die Reize überhaupt kaum noch Zuckungen hervorrufen.

Unterbricht man nunmehr die Reizung für eine Weile, so tritt eine unvollkommene Erholung des Muskels ein, die sich darin äußert, daß nach Wiederbeginn der Reizung die ersten Zuckungen wieder bedeutend höher sind als zuletzt. Aber die Ermüdung erfolgt jetzt bedeutend schneller als vorher. Nach wenigen Zuckungen ist der Muskel wieder in demselben Zustande der Ermüdung wie nach der ersten Reizserie.

Graphische Darstellung der Arbeitslähmung beim Menschen mit dem Mossoschen Ergographen. Für die Registrierung der Arbeit beim Menschen dient Mossos Ergograph. Dieser Apparat besteht aus einem Armhalter und einer Schreibvorrichtung. Die letztere stellt einen Schlitten vor, der auf einer Metallbahn leicht beweglich ist (Fig. 83). An dem Schlitten befindet sich seitwärts ein Schreibhebel *S*, der alle Bewegungen des Schlittens auf einer horizontal liegenden Kymographiontrommel *KT* verzeichnet, ferner eine starke Schnur mit einer ledernen Fingeröse, durch die der Schlitten mit dem Finger auf der Bahn angezogen werden kann, und schließlich nach der entgegengesetzten Richtung eine zweite Schnur, an der ein abstufbarer Gewichtssatz *G* zur Hebung befestigt werden kann. Die Schreibvorrichtung *Schr.* wird mit ihrem Stativ an einer Tischkante so befestigt, daß die Schnur mit dem Gewicht mittels einer Rolle über die Tischkante herunterhängt. Ist die Schreibvorrichtung befestigt, so schraubt man in einer passenden Entfernung den Armhalter am Tisch fest, so daß er sich nicht verschieben kann, steckt den 2. und 4. Finger in die zylindrischen Metallhülsen und stülpt die Fingerschlinge des Schreibschlittens über das Gelenk zwischen 2. und 3. Phalanx des Mittelfingers. Liegt der Arm bequem, so wird er durch die Schrauben des Armhalters in dieser Lage fixiert. Schließlich rückt man die Spitze des Schreibhebels an die berußte Trommel

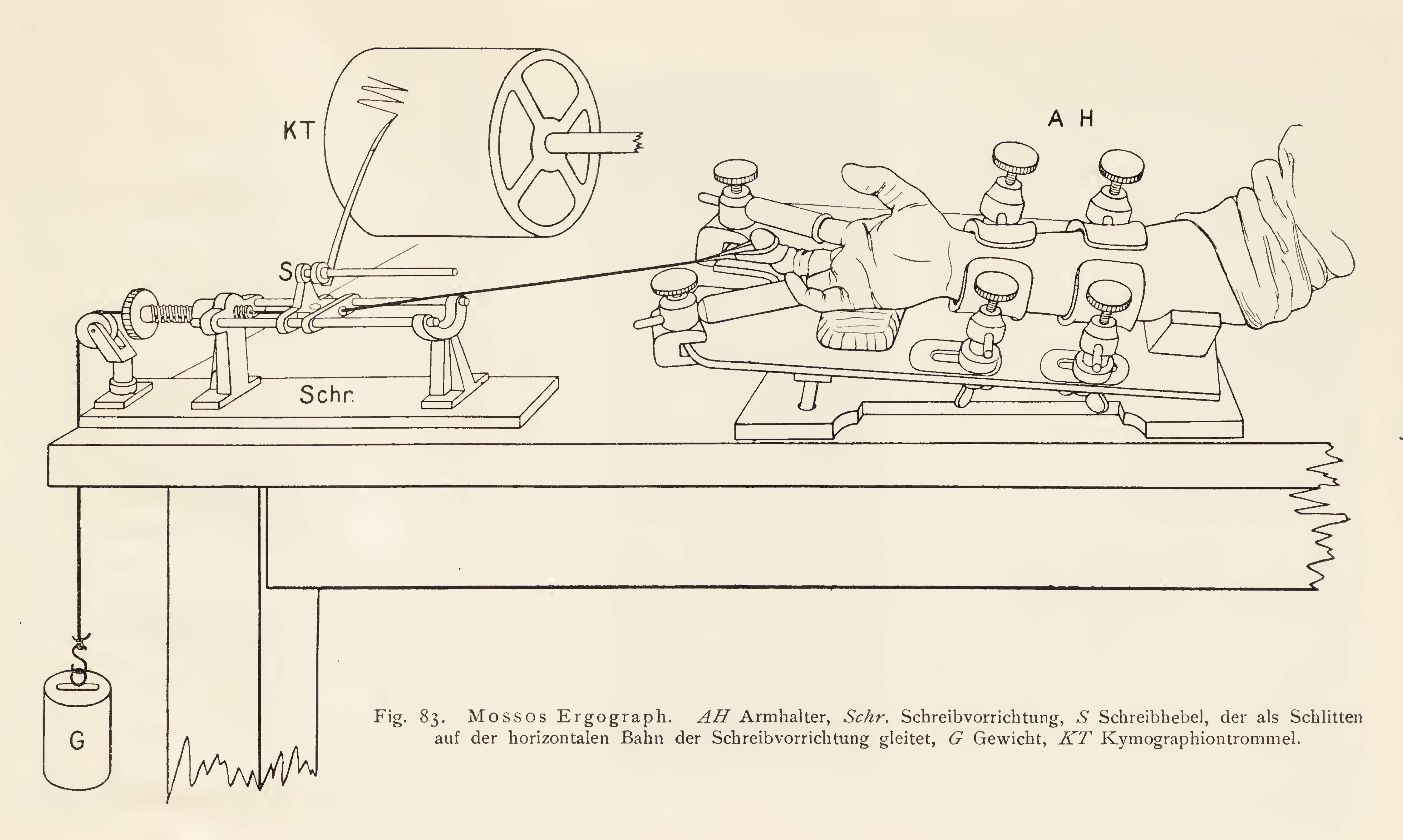


Fig. 83. Mossos Ergograph. *AH* Armhalter, *Schr.* Schreibvorrichtung, *S* Schreibhebel, der als Schlitten auf der horizontalen Bahn der Schreibvorrichtung gleitet, *G* Gewicht, *KT* Kymographiontrommel.

und läßt die letztere laufen, während man durch rhythmisches Beugen und Strecken des Mittelfingers den Schlitten mit seinem daranhängenden Gewicht in gleichmäßigen Intervallen, am besten nach dem Takt eines Metronoms, anzieht und wieder zurückgleiten läßt. Dabei verzeichnen sich auf der um eine horizontale Achse rotierenden Trommel die Beugungen und Streckungen des Mittelfingers in Form einer Kurvenreihe, an deren Verlauf man allmählich die Symptome der Arbeitslähmung zum Ausdruck kommen sieht, bis der Finger selbst mit stärkster Willensanstrengung nicht mehr das Schlittengewicht zu heben vermag (Fig. 84). Man bemerkt dabei nicht selten den hemmenden Einfluß, den die Ablenkung der Aufmerksamkeit auf die Höhe der Zuckungskurven während des Verlaufs der ganzen Reihe ausübt. Lenkt man die Aufmerksamkeit der Versuchsperson, namentlich wenn die Arbeitslähmung bereits begonnen hat, sich deutlich bemerkbar

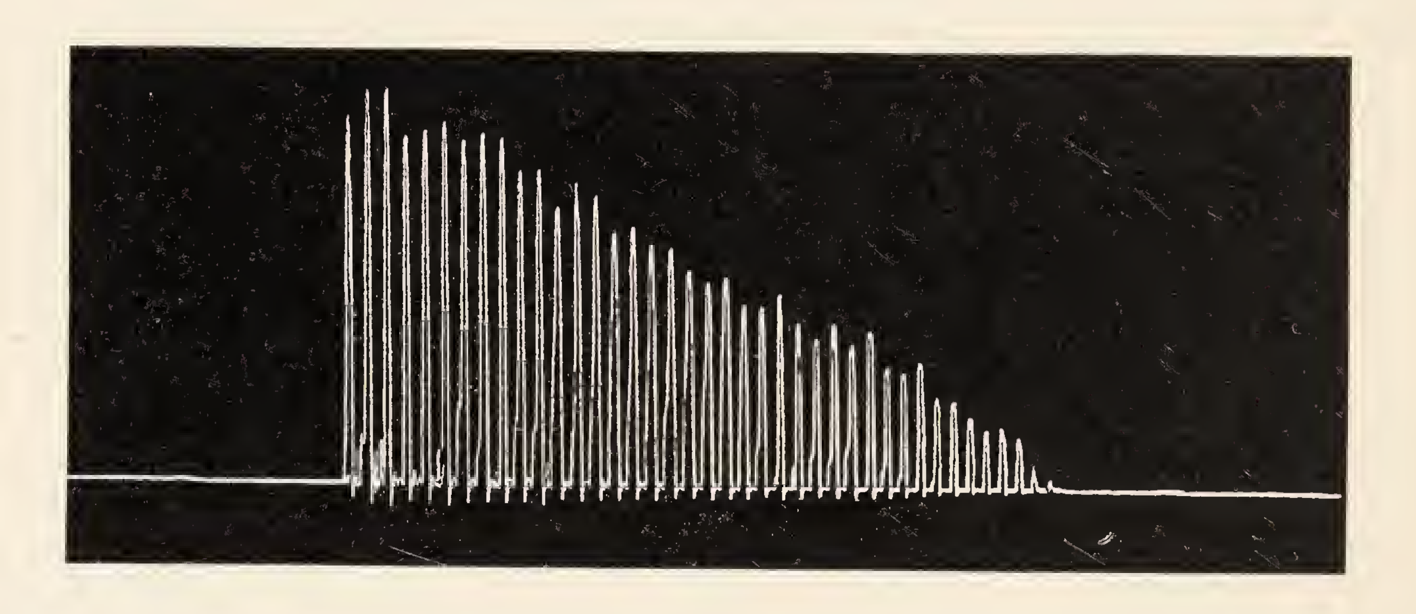


Fig. 84. Kurve der Arbeitslähmung vom Menschen mit dem Ergographen aufgezeichnet.

zu machen, durch ein Gespräch auf einen anderen Gegenstand, so sieht man nicht selten die Kurven während dieser Zeit niedriger werden. Umgekehrt werden die Kurvenhöhen wieder größer, wenn die Aufmerksamkeit wieder zum Versuch zurückkehrt und besonders, wenn die Versuchsperson durch den Anblick der kleiner gewordenen Kurven wieder zu einer stärkeren Willensanstrengung angespornt wird. Verhindert man die Versuchsperson, die Kurvenverzeichnung zu verfolgen und vermeidet man jede Ablenkung der Aufmerksamkeit, so kann man häufig recht regelmäßige Kurvenfolgen erhalten.

Superposition von Zuckungen. Unvollkommener und vollkommener Tetanus. Zur graphischen Darstellung der Superposition von Zuckungen am Froschmuskel verfährt man in folgender Weise. Ein Nervmuskelpräparat (Gastrocnemius) wird in einem Muskelschreiber befestigt und mit dem Schreibhebel in Verbindung gesetzt (siehe letztes Kapitel). Der Nerv wird über zwei Platin-

elektroden gelegt, die mit den Klemmschrauben der sekundären Spirale eines Schlitteninduktoriums verbunden sind. In den primären Kreis wird ein Quecksilberschlüssel und statt des NEEFschen Hammers ein FOUCAULTscher Unterbrecher eingeschaltet (also obere Klemmschrauben der primären Spirale). Dieser Unterbrecher (Fig. 85) ist nichts weiter als ein modifizierter NEEFscher Hammer. Er besteht aus einem horizontalen Metallbalken, der in der Mitte auf einer starken vertikalen Feder F befestigt ist, so daß er innerhalb gewisser Grenzen nach beiden Enden hin Pendelbewegungen machen kann. An einem Ende des Balkens befindet sich ein Metallstift, der nach unten in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß Q eintaucht. Am anderen Ende des Balkens ist ein Eisenanker A angebracht in einigem Abstande über zwei vertikal stehenden Säulen von weichem Eisen M. Der Strom wird von einer galvanischen Batterie oder einem Akkumulator zu dem Quecksilbernapf

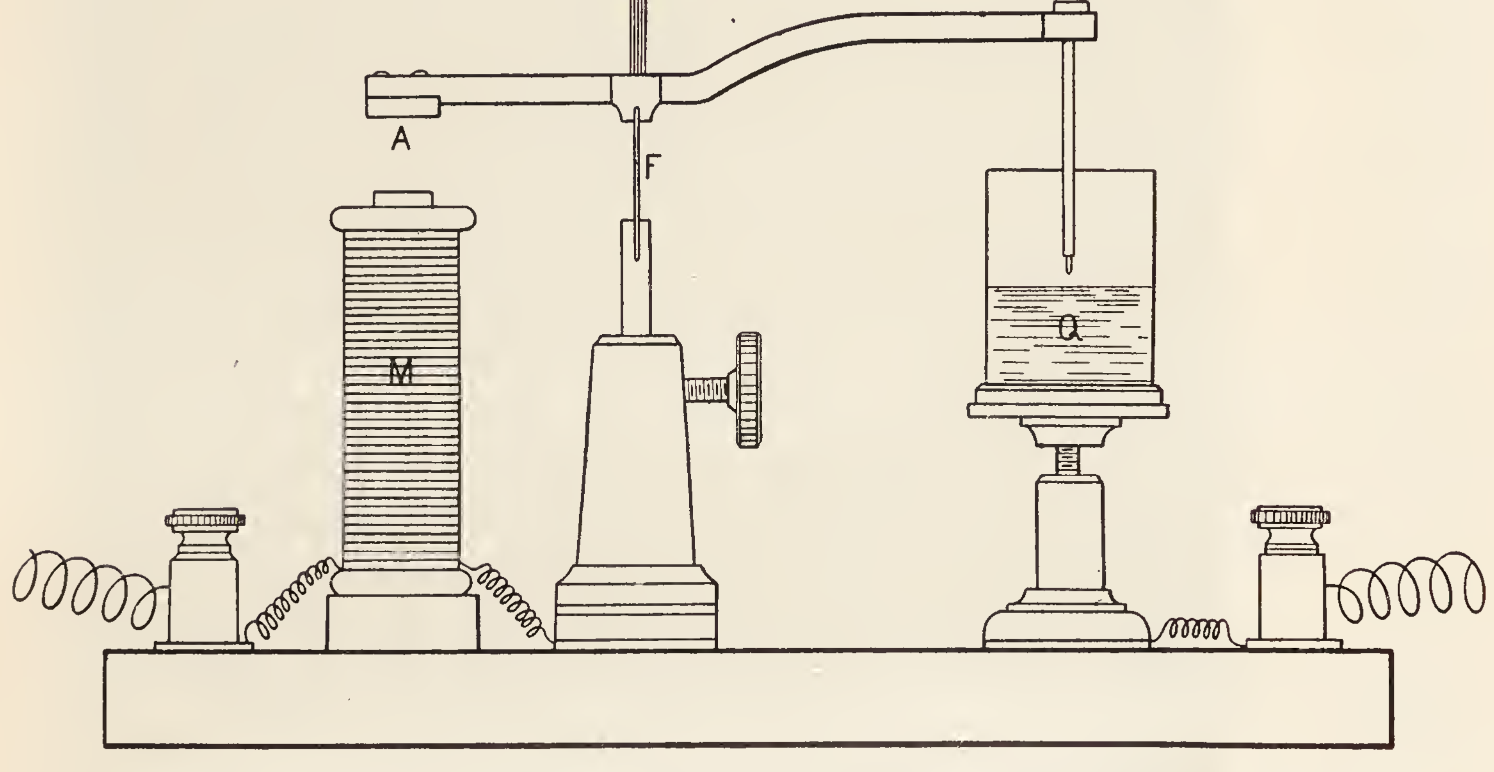


Fig. 85. FOUCAULTscher Unterbrecher.
F Feder, A Anker des Metallbalkens, Q Quecksilbergefäß, M Eisensäulen, die magnetisch werden, K verschiebbare Metallkugel.

geleitet, geht von hier durch den Metallstift in den Balken und von diesem in Drahtwindungen um die weichen Eisensäulen herum, von wo er austritt. Im Moment, wo der Strom geschlossen wird, wird das weiche Eisen magnetisch, zieht den über ihm befindlichen Arm des Balkens mit seinem Eisenanker eine Strecke weit, jedoch nicht bis zur Berührung herab und bewirkt so, daß das andere Ende des Balkens in die Höhe geht und den Metallstift aus dem Quecksilber hebt. Dadurch ist der Strom unterbrochen, der Magnetismus im weichen Eisen verschwindet wieder, der Anker geht

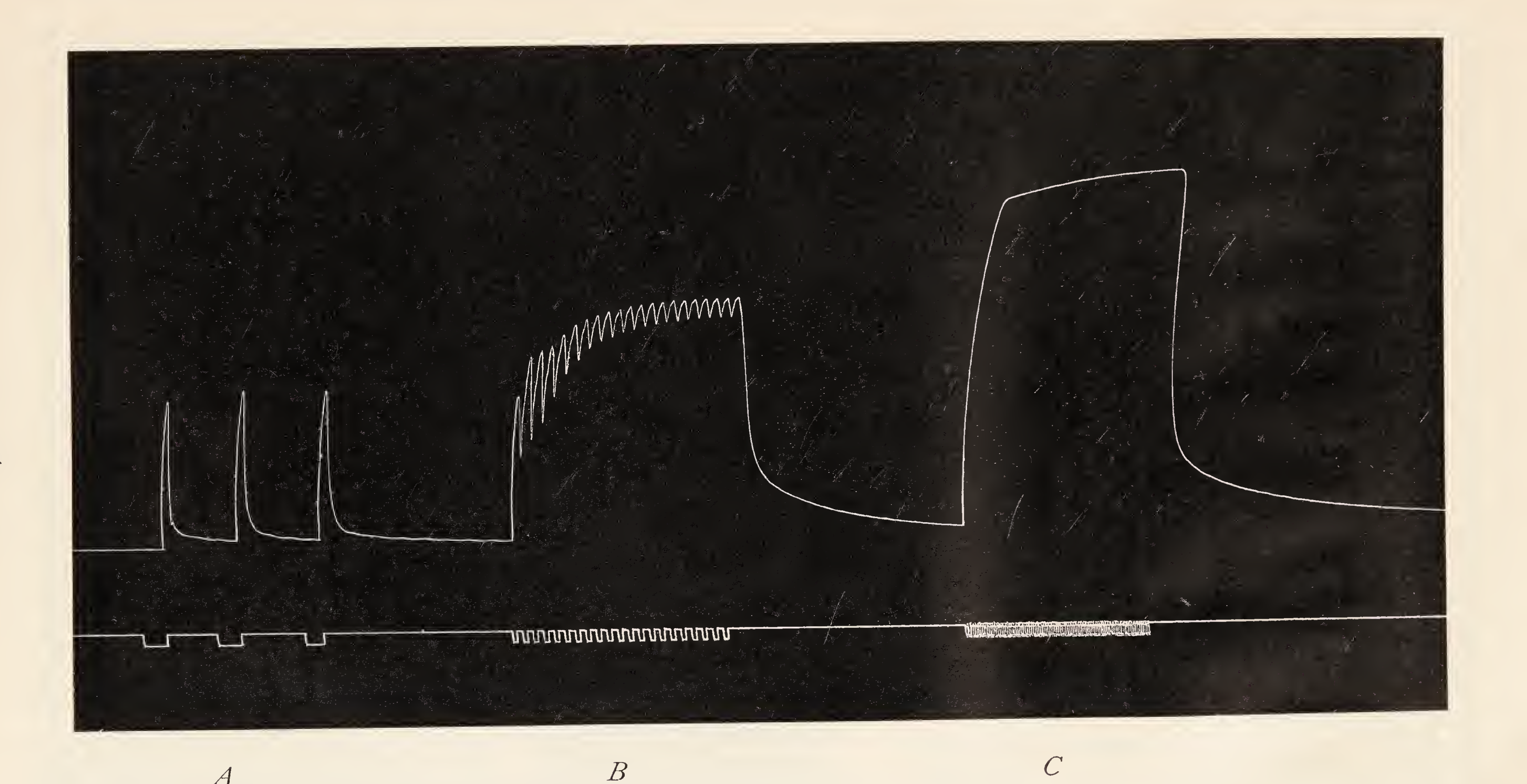


Fig. 86. Superposition von Muskelzuckungen. Bei *A* drei Einzelzuckungen, bei *B* unvollkommener Tetanus, bei *C* vollkommener Tetanus. Auf der unteren Linie ist jedesmal mit einem DESPRETZschen Signal die Zahl der Reize und die Dauer der Reizung aufgeschrieben.

wieder in die Höhe, der Metallstift taucht wieder in das Quecksilber u. s. f. Senkrecht über der Mitte des Metallbalkens befindet sich eine Stange mit einer verschiebbaren Metallkugel *K*. Je nach der Stellung dieses Gewichtes werden die Pendelbewegungen des Metallbalkens und damit die Schließungen und Öffnungen des Stromes in langsamerem oder in schnellerem Rhythmus erfolgen. Der ganze Apparat wird mit seinen beiden Klemmschrauben wie ein zweiter Quecksilberschlüssel in den primären Stromkreis eingeschaltet. Gleichzeitig befindet sich als dritter Bestandteil im primären Stromkreise ein DESPRETZsches Signal (siehe letztes Kapitel). Ist die ganze Anordnung fertig aufgestellt, so wird die Spitze des Schreibhebels, nachdem der Muskel mit einem Gewicht von etwa 20—50 g belastet ist, an die Schreibfläche angerückt und in einiger Entfernung darunter die Spitze des DESPRETZschen Signals. Schließlich wird die Schreibfläche in Bewegung gesetzt. Man stellt jetzt zunächst, indem man die Pendelstange des FOUCAULTschen Unterbrechers festhält und den Strom mit dem Quecksilberschlüssel schließt, den Rollenabstand fest, bei dem Schließungs- und Öffnungsschläge gleichstarke, d. h. maximale Einzelzuckungen liefern, und zeichnet die Kurven von einigen Einzelzuckungen auf. Dann läßt man den Unterbrecher bei hochgeschobenem Gewicht spielen und sieht, wie jetzt, wo die Reize schneller aufeinanderfolgen, als der Muskel sich nach jeder Kontraktion strecken kann, die Zuckungskurven sich superponieren und zu einem höheren Niveau hinaufgehen als vorher bei den Einzelreizen von gleicher Stärke. Man kann nun durch sukzessives Herabschieben des Gewichtes während der folgenden Reizperioden die Reize jedesmal schneller aufeinanderfolgen lassen und so alle Übergänge von der Einzelzuckung an über die ersten Andeutungen der Superposition, über den unvollkommenen Tetanus bis zum vollkommenen Tetanus erhalten.

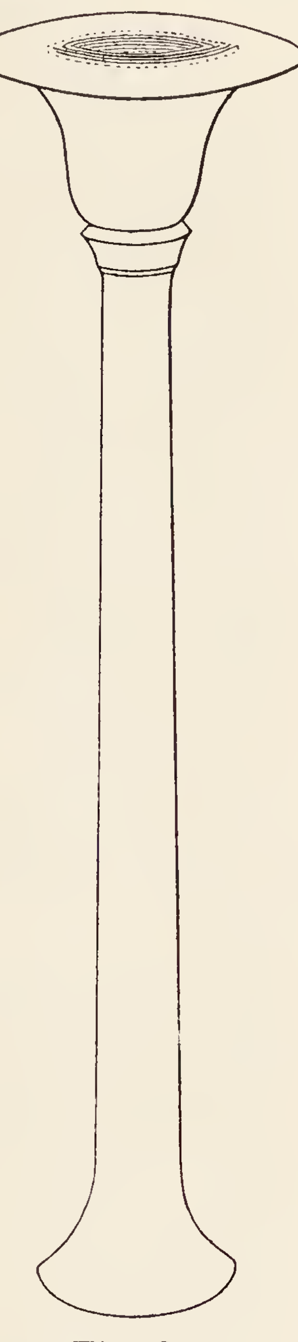


Fig. 87.
Stethoskop.

Anhören des Muskeltons beim Menschen. Man läßt eine Versuchsperson die Kaumuskeln einige Sekunden lang stark kontrahieren (Zusammenpressen der Zähne) und hört mit einem Stethoskop, das man auf die Backenhaut über den tetanisch kontrahierten Masseter aufsetzt, ein deutlich summendes Geräusch, das sofort aufhört, wenn

die Versuchsperson die Muskeln nicht mehr innerviert. Das Stethoskop (Fig. 87) dient nur der Schallübertragung zum Ohre des Untersuchers. Man kann auch in einem geräuschfreien Zimmer, besonders wenn man irgend ein kleines hohles Gefäß als Resonator mit dem Rande auf das eigene Ohr und die Kaumuskeln zugleich aufsetzt und die Zähne zusammenpreßt, den Muskelton an sich selbst ohne weiteres wahrnehmen.

C. Die polaren Wirkungen des konstanten Stromes.

Theoretische Vorbemerkungen. Läßt man einen konstanten Strom durch einen mäßig belasteten curarisierten Muskel hindurchgehen, so beobachtet man folgendes: Der Muskel führt im Moment der Schließung eine schnelle Zuckung aus und streckt sich unmittelbar nach der Schließung wieder bis zu einem gewissen Grade. Die nach der Schließung zurückbleibende, je nach der Intensität des Stromes mehr oder weniger ausgeprägte „Schließungsdauerkontraktion" bleibt, solange der Strom geschlossen ist, bestehen. Bei der Öffnung des Stromes führt der Muskel eine neue Zuckung aus, nach deren Ablauf er sich vollständig wieder streckt. Es sind also die schnellen Intensitätsschwankungen des Stromes, wie sie bei der Schließung und bei der Öffnung auftreten, die besonders stark als Reiz wirken, während die Dauer des Stromes selbst nur einen verhältnismäßig schwachen Reiz repräsentiert. Dabei wirkt die Schließung des konstanten Stromes stärker als die Öffnung (des konstanten!, nicht zu verwechseln mit dem Schließungs- und Öffnungs-Induktionsstrom!), so daß, wenn man eine Stromstärke benutzt, die nur eben gerade wirksam ist, nur die Schließung, noch nicht die Öffnung des Stromes eine Zuckung liefert.

Eine weitere Tatsache bei der Durchströmung eines Muskels mit einem konstanten Strom ist die, daß mit dem Moment der Schließung oder der Öffnung nicht gleichzeitig die ganze durchströmte Muskelstrecke in Erregung gerät, sondern daß die Erregung in Form einer Kontraktionswelle von einem Pol nach dem anderen hinüber verläuft. Dieser Vorgang läuft aber so plötzlich ab, daß er nicht mit dem bloßen Auge, sondern nur mit geeigneten Hilfsmitteln erkannt werden kann. Dabei besteht folgende Gesetzmäßigkeit: Bei der Schließung liegt der Ausgangspunkt der kontraktorischen Erregungswelle an der Kathode (—). Ebenso ist die schwache Schließungsdauerkontraktion des Muskels, solange der Strom geschlossen bleibt, an der Kathode lokalisiert. Bei der Öffnung dagegen geht die kontraktorische Erregungswelle von der Anode aus (+). Das ist das „Gesetz der polaren Erregung" des Muskels. Dieses Gesetz erfährt aber noch eine Erweiterung oder Ergänzung durch die Tatsache, daß bei der Schließung an der Anode, also dem der Erregung entgegengesetzten Pole, auch ein entgegengesetzter Vorgang, nämlich eine Hemmung, d. h. eine erschlaffende Wirkung lokalisiert ist. Das ist natürlich bei einem Muskel, der, wie der ausgeschnittene Skelettmuskel, von vornherein in seinem Ruhezustand schon maximal erschlafft ist, nicht zu sehen, denn dieser kann ja nicht weiter erschlaffen. Wohl aber ist diese Anodenwirkung bei der Schließung zu sehen an Muskeln, die sich von vornherein in einem tonischen Erregungszustande befinden, wie die glatten Muskeln oder eben grade kontrahiert sind, wie der Herzmuskel während der Systole. Da

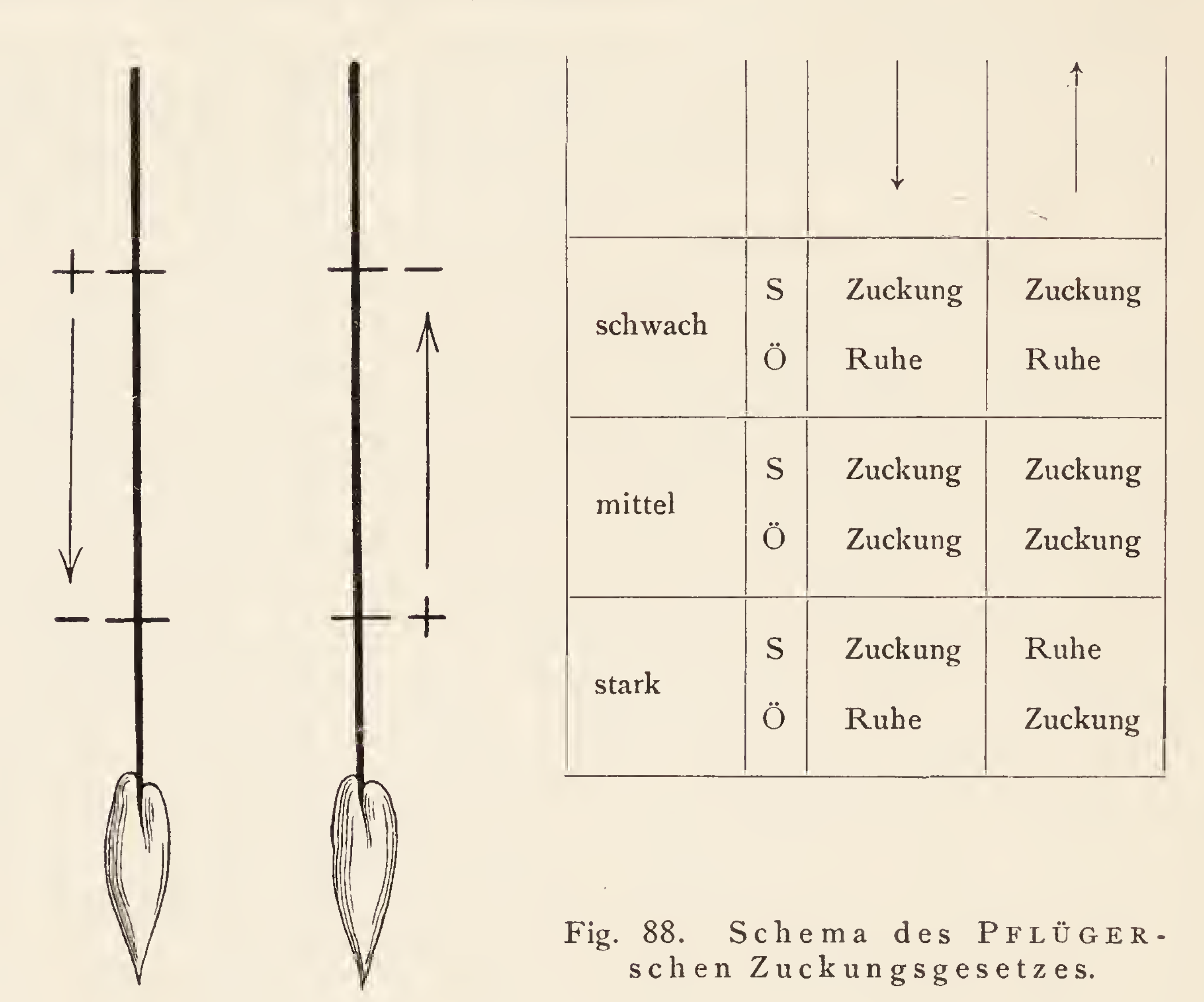
beobachtet man, daß die Kontraktion an der Anode bei der Schließung nachläßt, während sie an der Kathode zu einer Zuckung verstärkt wird. Ob auch bei der Öffnung eine entsprechende Hemmung an der Kathode auftritt, ist zweifelhaft.

Dasselbe Gesetz der polaren Erregung gilt auch für den Nerven. Hier hat es seinen Ausdruck gefunden in dem sog. „PFLÜGERschen Zuckungsgesetz". Legt man die beiden Elektroden an zwei voneinander entfernte Punkte eines Nerv-Muskelpräparates an, so hat man in der Zuckung des Muskels ein Kriterium dafür, daß bei Schließung und Öffnung des Stromes eine Erregung des Nerven stattfindet. Durch Messung der Latenzzeit läßt sich ermitteln, daß die Erregung bei der Schließung von der Kathode, bei der Öffnung von der Anode ausgeht. Dabei kommt aber für den Erfolg am Muskel noch ein anderes Moment in Betracht. Läßt man nämlich einen konstanten Strom durch einen Nerven fließen, so gerät der Nerv in einen Zustand veränderter Erregbarkeit, der als „Elektrotonus" bezeichnet worden ist. In diesem Zustande ist die Erregbarkeit des Nerven an der Kathode gegen die Norm gesteigert, an der Anode gegen die Norm herabgesetzt. Öffnet man den Strom, so tritt zunächst das umgekehrte Verhältnis ein, d. h. die Erregbarkeit erscheint in der Umgebung der Kathode herabgesetzt, in der Umgebung der Anode erhöht, bis diese Erregbarkeitsveränderungen allmählich wieder abklingen und dem normalen Erregbarkeitsgrade des Nerven wieder Platz machen. Diese Erregbarkeitsveränderungen an den Polen sind um so größer, je stärker der Strom ist. Es kann z. B. die Herabsetzung der Erregbarkeit nach der Schließung an der Anode, nach der Öffnung an der Kathode bei Anwendung sehr starker Ströme so groß sein, daß die betreffenden Nervenstellen für den Durchgang von Erregungswellen, die von oberhalb kommen, überhaupt unwegsam werden. Der Erfolg am Muskel wird also bei starken Strömen davon abhängen, wo die Stellen herabgesetzter Erregbarkeit am Nerven bei Schließung und Öffnung relativ zu den Ausgangspunkten der Erregungswelle gelegen sind, d. h. wie die Pole am Nerven liegen, ob es sich um einen „absteigenden" (vom Zentrum + nach der Peripherie — gerichteten) oder um einen „aufsteigenden" (von der Peripherie + nach dem Zentrum — gerichteten) Strom handelt (Fig. 88). Berücksichtigt man das, so kann man auf Grund der folgenden vier Sätze, die sich aus dem Vorstehenden ergeben, alle einzelnen Fälle des Zuckungsgesetzes für alle Stromstärken jeden Augenblick leicht ableiten und begründen. Diese vier Sätze sind folgende:

1. Schließung und Öffnung des konstanten Stromes wirken als zuckungserregender Reiz.
2. Die Schließung des konstanten Stromes ist stärker wirksam als die Öffnung.
3. Bei der Schließung geht die Erregung aus von der Kathode, bei der Öffnung von der Anode.
4. Bei der Schließung wird die Erregbarkeit erhöht an der Kathode, herabgesetzt an der Anode, bei der Öffnung wird umgekehrt die Erregbarkeit herabgesetzt an der Kathode, erhöht an der Anode.

Danach ergibt sich folgendes Zuckungsgesetz einerseits für den absteigenden, andererseits für den aufsteigenden Strom bei drei verschiedenen Stromstärken, die so gewählt sind, daß der „schwache" Strom eben gerade wirksam ist, daß der „mittelstarke" Strom sowohl bei Schließung als bei

Öffnung wirkt und daß der „starke“ Strom bei der Schließung an der Anode, bei der Öffnung an der Kathode die Erregbarkeit bis zur völligen Aufhebung der Nervenleitung herabsetzt.



		↓	↑
schwach	S	Zuckung	Zuckung
	Ö	Ruhe	Ruhe
mittel	S	Zuckung	Zuckung
	Ö	Zuckung	Zuckung
stark	S	Zuckung	Ruhe
	Ö	Ruhe	Zuckung

Fig. 88. Schema des Pflügerschen Zuckungsgesetzes.

In obigem Schema geben die Pfeile die Stromrichtung an, die Buchstaben S und Ö bedeuten Schließung und Öffnung. Die einzelnen Fälle des Zuckungsgesetzes begründen sich nach den obigen vier Sätzen in folgender Weise:

Beim „schwachen“ Strom absteigender wie aufsteigender Richtung liefert die Schließung eine Zuckung, die Öffnung Ruhe, weil der „schwache“ Strom eben nur wirksam ist. Da nach Satz 2 die Schließung stärker wirkt als die Öffnung, wird die Öffnung beim „schwachen“ Strom noch unwirksam sein.

Beim „mittelstarken“ Strom absteigender wie aufsteigender Richtung entsteht sowohl nach Schließung als nach Öffnung eine Zuckung, weil der „mittelstarke“ Strom so stark ist, daß sowohl die Schließung als die Öffnung nach Satz 1 wirksam ist. Die Erregbarkeitsherabsetzung nach Satz 4, bei der Schließung an der Anode, bei der Öffnung an der Kathode, ist aber beim „mittelstarken“ Strom noch nicht so stark, daß die betreffende Strecke unwegsam würde; folglich kann die Erregung, die nach Satz 3 bei der Schließung von der Kathode, bei der Öffnung von der Anode ausgeht, in beiden Fällen noch ungehindert zum Muskel gehen und hier eine Zuckung hervorrufen.

Beim „starken“ Strom ist die Erregbarkeitsherabsetzung, die nach Satz 4 bei der Schließung an der Anode, bei der Öffnung an der Kathode sich entwickelt, so stark, daß die betreffende Stelle für die Erregungsleitung von oben her unwegsam ist. Beim absteigenden Strom ist nun die Anode oben, die Kathode unten gelegen. Da bei der Schließung

die Erregung ausgeht von der Kathode, bei der Öffnung von der Anode, so kann die Erregung bei der Schließung ungehindert zum Muskel, bei der Öffnung dagegen nicht, weil ja zwischen Ausgangsstelle der Erregung und Muskel die unwegsame Nervenstrecke gelegen ist. Daher ist bei absteigendem Strom bei Schließung Zuckung, bei Öffnung Ruhe. Beim aufsteigenden Strom ist das Verhältnis umgekehrt, weil die relative Lage der Pole umgekehrt ist. Daher ist bei Schließung Ruhe und bei Öffnung Zuckung.

Da sowohl der glatte wie der quergestreifte Muskel, sowohl der markhaltige wie der marklose Nerv dem gleichen Gesetz der polaren Erregung durch den konstanten Strom folgt, hat man geglaubt, dieses Gesetz als allgemeingültig für alle lebendige Substanz ansprechen zu dürfen. Das hat sich indessen als falsch erwiesen. Es sind zahlreiche Formen der lebendigen Substanz gefunden worden, die ganz anderen Gesetzen polarer Erregung folgen (Actinosphaerium, Amöben, Infusorien usw.). So ist z. B. auch bei Paramaecium die Galvanotaxis (siehe oben p. 30) der Ausdruck für ein ganz anderes Erregungsgesetz, insofern hier bei der Schließung eine kontraktorische Erregung der Wimpern an der Anode und eine expansorische Wirkung an der Kathode lokalisiert ist.

Lokalisation der Schließungsdauerkontraktion an der Kathode. Zu dem Versuch werden die langen Bauchmuskeln eines Frosches benutzt. Ein Frosch wird curarisiert (s. oben p. 94 u. 144). Sobald die Lähmung vollständig ist, dekapitiert man ihn und bohrt ihm Gehirn und Rückenmark aus (siehe oben p. 145). Dann legt man ihn auf den Rücken, hebt die Bauchhaut mit einer Pinzette hoch und schneidet sie mit der Schere in großem Umfang von den darunterliegenden Muskeln ab. Man sieht nunmehr die langen Bauchmuskeln zu beiden Seiten der Mittellinie frei liegen. Sie zeigen eine deutliche Segmentierung, indem mehrere sehnige Streifen quer zur Mittellinie durch die Muskelsubstanz ziehen und so die beiden Muskeln in eine Anzahl Felder abteilen. Mit Pinzette und Schere werden die beiden langen Bauchmuskeln in ihrem Zusammenhange herauspräpariert und auf einem kleinen Korkrahmen, der aus zwei parallel im Abstande von 2—3 cm auf eine Glasplatte aufgekitteten Korkstreifen besteht, mit vier Igelstacheln straff aufgespannt, so daß ihre Ursprungsseite auf dem einen, ihre Ansatzseite auf dem anderen be-

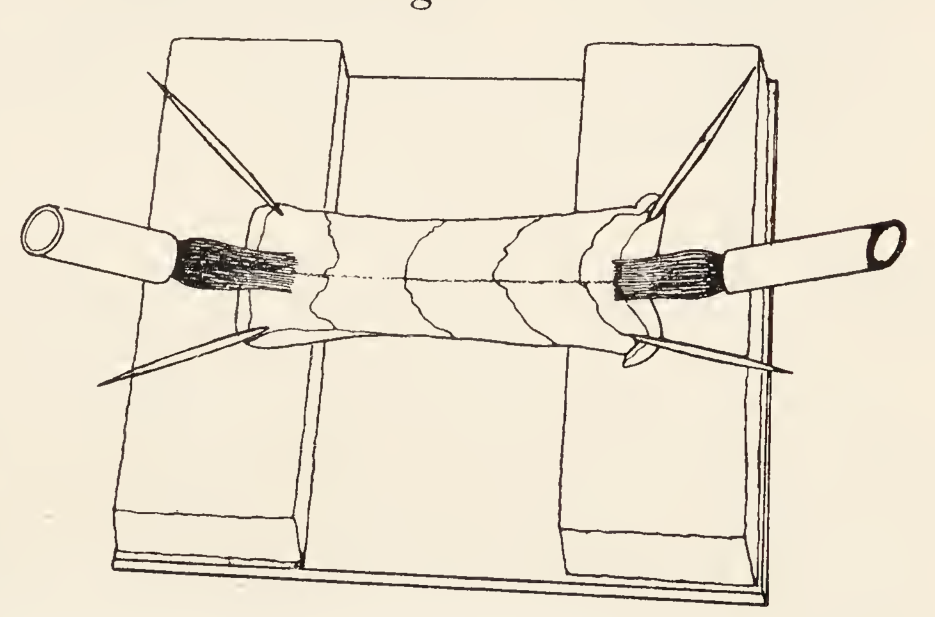


Fig. 89. Lange Bauchmuskeln des Frosches auf einem Korkrahmen aufgespannt. Die Pinsel sind die Elektroden des zur Reizung benutzten konstanten Stromes.

festigt ist (Fig. 89). Als Stromquelle dient ein kleiner Akkumulator oder eine galvanische Batterie (siehe letztes Kapitel), deren Poldrähte durch Vermittelung eines Quecksilberschlüssels und einer POHLschen Wippe (Kommutator) zu unpolisierbaren Pinselelektroden (siehe letztes Kapitel) geleitet werden. Die Anordnung zeigt das Schema Fig. 90.

Die Elektrodenpinsel werden schließlich so an das Präparat angelegt, daß der eine die Ursprungs-, der andere die Ansatzseite des Muskels berührt. Wird jetzt der Strom geschlossen, so fließt er der Länge nach durch den Muskel hindurch. Da aber jedes Feld infolge seiner Abgrenzung durch den queren Sehnenstreifen einen selbständigen Muskel repräsentiert, so hat jedes Feld seine eigene Anode und seine eigene Kathode. Man bemerkt nun im Moment der Schließung zunächst eine Zuckung des ganzen Muskels, während der Dauer des Stromes aber sieht man an der Kathodenseite jedes Muskelfeldes einen etwa 1—2 mm breiten, längs dem Sehnenstreifen verlaufenden Kon-

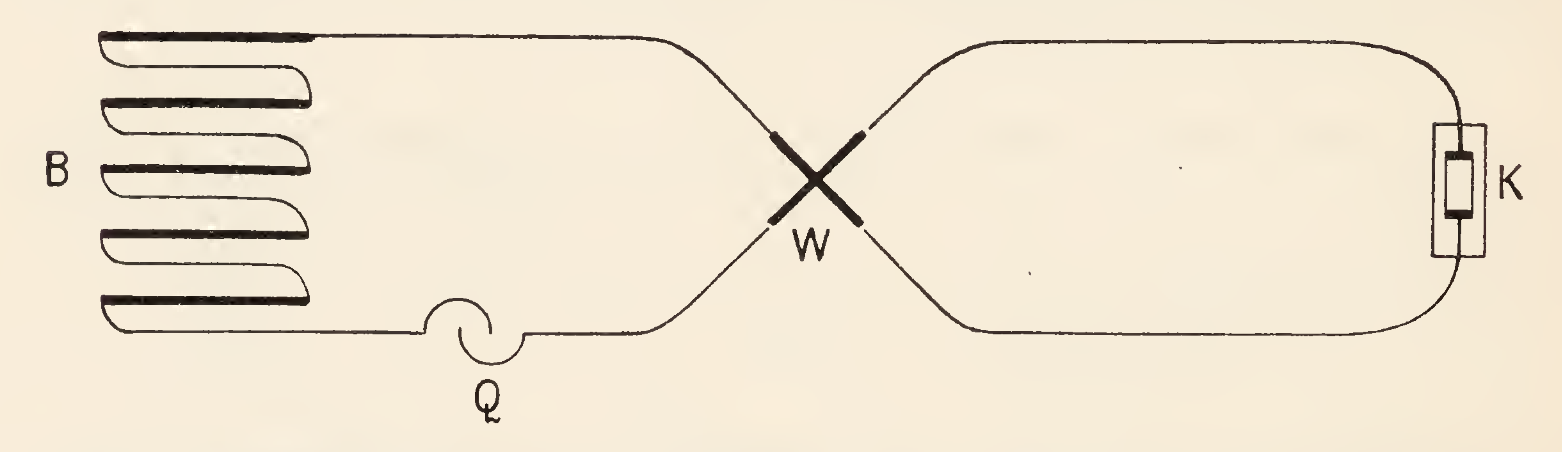


Fig. 90. Schema der Anordnung für die Demonstration der Schließungsdauerkontraktion. *B* Batterie, *Q* Quecksilberschlüssel, *W* POHLsche Wippe, *K* Korkrahmen mit Muskelpräparat.

traktionswulst, der um so stärker entwickelt ist, je stärker der Strom ist, und der streng an der Kathodenseite lokalisiert bleibt, während an der Anodenseite die Muskelsubstanz glatt und nicht kontrahiert erscheint. Öffnet man den Strom, so tritt eine neue Zuckung auf und der Wulst an der Kathode ist nach der Streckung verschwunden. Wendet man die Stromrichtung bei geschlossenem Strom durch Umlegen der Wippe, so rückt der Kontraktionswulst an jedem Felde auf die andere Seite hinüber. Man kann den ganzen Vorgang bequem mit dem bloßen Auge, vielleicht noch besser mit einem schwachen Vergrößerungsglase beobachten.

Die polare Wirkung der Anode am Herzmuskel. Ein Frosch wird schwach curarisiert, so daß er eben gelähmt ist. Dann wird ihm in Rückenlage das Herz freigelegt (siehe oben p. 94). Als Stromquelle dient ein DANIELLsches Element, dessen Poldrähte direkt zu unpolarisierbaren Pinselelektroden geleitet werden, von denen der kathodische Pol auf irgendeine indifferente Stelle des Frosches, Bauch-

haut oder Baucheingeweide, gelegt wird, während die anodische Elektrode mit der Hand geführt und im Beginn einer Systole mit der fein ausgezogenen Spitze des Pinsels auf den Ventrikel aufgesetzt wird (sog. „unipolare Reizung“). Man sieht dann während der Systole auf der hellen kontrahierten Muskulatur an der Berührungsstelle mit dem Pinsel eine dunkelrote, mit Blut gefüllte Blase auftreten, die dadurch zustande kommt, daß die Muskulatur hier lokal vollständig erschlafft, so daß an dieser Stelle ein Lumen im Herzen entsteht, das sich mit Blut füllt. Der Vorgang ist äußerst augenfällig. Es genügt, die Pinselspitze 1—2 Sekunden lang auf das Herz aufzusetzen. Der Versuch kann oft wiederholt werden. Zweckmäßig ist es, um den Herzschlag etwas zu verlangsamen, den Frosch bis unmittelbar vor dem Versuch in niedriger Temperatur zu halten.

Die polare Erregung des Nerven. Pflügersches Zuckungsgesetz. Die Frösche werden zu den folgenden Versuchen mindestens

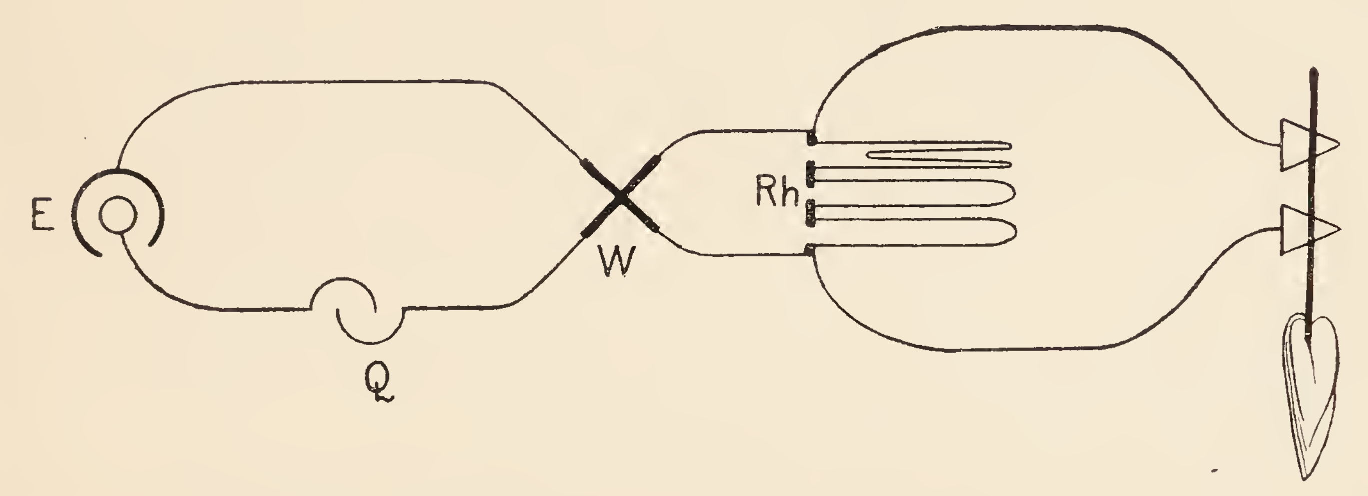


Fig. 91. Schema der Anordnung für die Demonstration des PFLÜGERschen Zuckungsgesetzes. *E* Stromquelle, *Q* Quecksilberschlüssel, *W* POHLsche Wippe, *Rh* Rheochord.

einen Tag vorher unter Zimmertemperatur gebracht. Für die Versuche werden zwei Nerv-Muskelpräparate (Schenkelpräparate) von demselben Frosch hergestellt. Das eine dient zu den Versuchen mit absteigendem, das andere zu den Versuchen mit aufsteigendem Strom. Als Stromquelle dient für den „schwachen“ Strom nur ein schwach gefülltes, für den „mittleren“ Strom ein ganz gefülltes DANIELLsches Element. Für den „starken“ Strom ist eine stärkere galvanische Batterie oder ein Akkumulator (siehe letztes Kapitel) erforderlich. Im Stromkreise befinden sich: ein Quecksilberschlüssel, eine POHLsche Wippe, ein DU BOIS-REYMONDsches Rheochord (siehe letztes Kapitel) und ein Paar unpolarisierbare Pinselelektroden. Die Anordnung ergibt sich aus dem Schema Fig. 91. Zunächst werden alle Fälle des Zuckungsgesetzes bei absteigendem Strom an dem einen Präparat dargestellt. Für den „schwachen“ Strom müssen zunächst alle Stöpsel des Rheochords eingesteckt und der Schlitten muß fest an die Metalleiste

herangeschoben sein. Ist die richtige absteigende Stromrichtung am Nerven mit der Wippe eingestellt, so überzeugt man sich jetzt mit dem Schlüssel, daß noch keine Erregung am Präparat eintritt. Nun schiebt man den Schlitten des Rheochords ein wenig von der Metallleiste fort und prüft wieder. Das wiederholt man, bis am Präparat die erste Wirkung auftritt. Man überzeugt sich, daß jetzt nur die Schließung, noch nicht die Öffnung eine Zuckung liefert. Für die Darstellung des mittelstarken Falles genügt es oft schon, den Schlitten weiter herabzuschieben und einige Stöpsel am Rheochord herauszunehmen. Reicht das nicht aus, so füllt man das DANIELLsche Element vollständig. Dann erhält man bei Schließung sowohl wie bei Öffnung eine Zuckung. Natürlich kann man durch feine Abstufung des Stromes alle möglichen Übergänge zwischen den einzelnen Fällen des Zuckungsgesetzes erhalten, indem die Zuckungen anfangs ganz schwach sind, mit zunehmender Stärke stärker werden usw. Für den starken Fall ist das Rheochord aus dem Stromkreise auszuschalten und die starke Stromquelle durch Wippe und Schlüssel direkt mit den Elektroden zu verbinden. Ist die Stromquelle stark genug, so erhält man bei Schließung eine Zuckung, bei Öffnung Ruhe. Nach Beendigung der Versuche mit dem absteigenden Strom wird die Wippe umgelegt, und es werden mit der gleichen Anordnung wie vorher am anderen frischen Präparat dieselben Versuche mit aufsteigendem Strom angestellt. Die Resultate sind aus der obenstehenden Tabelle (p. 174) zu ersehen.

D. Chemie des Muskels.

Theoretische Vorbemerkungen. Die chemische Reaktion des frischen, nicht ermüdeten Muskels auf Lackmuspapier oder Säurefuchsin ist alkalisch. Bei angestrengter Tätigkeit aber und beim Absterben wird die Reaktion sauer, hauptsächlich infolge vermehrter Bildung von Milchsäure. Die chemische Analyse der Zusammensetzung des Muskels ergibt folgende Stoffe:

Eiweißkörper: Myosin, Myogen. Ferner Kollagen und Elastin, aus dem Bindegewebe stammend.

Kohlehydrate: Glykogen, Spuren von Maltose und Traubenzucker.

Fette (aus dem Bindegewebe), Lezithin und Cholestearin, sämtlich in geringen Mengen.

Stickstoffhaltige Produkte des Eiweißumsatzes: Sarkin, Kreatin, in Spuren Harnstoff und Harnsäure.

Stickstoffreie Stoffwechselprodukte: Milchsäure, Kohlensäure.

Salze: Hauptsächlich Phosphate der Alkalien und alkalischen Erden und Chlornatrium.

Wasser: ca. 75 Proz.

Die wichtigsten von den organischen Stoffen sind die Eiweißkörper und Kohlehydrate.

Die Eiweißkörper haben teilweise Globulincharakter, wie das Myosin, teilweise Albumincharakter, wie das Myogen. Sie zeichnen sich dadurch aus, daß sie im zirkulationslosen Muskel nach kürzerer oder längerer Zeit gerinnen, so daß der Muskel „totenstarr" wird. Beim Menschen tritt die „Totenstarre" ca. 6—12 Stunden nach dem definitiven Stillstand des Herzens ein. Ihr Eintritt ist aber abhängig von verschiedenen Faktoren: Ermüdung und höhere Temperatur beschleunigen den Eintritt der Totenstarre. In der Totenstarre kontrahiert sich der Muskel allmählich, zeigt eine gesteigerte Milchsäure- und Kohlensäure-, sowie entsprechende Wärmeproduktion und wird dabei trübe, undurchsichtig und steif. Aus dem „ersten Stadium der Totenstarre" kann sich der Muskel nach Wiederherstellung der Zirkulation wieder erholen, aus dem „zweiten Stadium" nicht mehr. Nach Ablauf der Totenstarre erschlafft der Muskel wieder und hat seine Erregbarkeit definitiv verloren. Wie bei der Totenstarre, tritt auch eine Gerinnung der Eiweißkörper des Muskels ein bei Erhöhung der Temperatur über 45°. Es entwickelt sich die „Wärmestarre", indem sich der Muskel ebenfalls verkürzt, verdickt und steif und trübe wird. Dabei gerinnt das Myosin schon zwischen 40 und 50°, das Myogen erst zwischen 55 und 65° C. Auch durch Zufuhr von verdünnten Säuren in die Muskelsubstanz von den Muskelgefäßen her werden die Eiweißkörper des Muskels zur Gerinnung gebracht und es entsteht die „Säurestarre", indem der Muskel die analogen äußeren Veränderungen zeigt wie bei der Wärmestarre. Die „Wasserstarre" dagegen, die eintritt, wenn man einen Muskel mit destilliertem Wasser durchspült, beruht auf der größeren Wasseraufnahme seiner Zellen. Damit verliert der Muskel ebenfalls seine Kontraktionsfähigkeit auf Reize und wird fest und steif, während umgekehrt bei Verminderung des Wassergehalts auf osmotischem Wege mittels Durchspülung mit hypertonischen Salzlösungen die Erregbarkeit des Muskels zunächst steigt (vgl. oben p. 19).

Unter den Kohlehydraten ist das Glykogen als Reservematerial im Muskel in größerer Menge angehäuft. Leber und Muskeln sind die großen Glykogendepots des Wirbeltierkörpers. Bei Hunger oder angestrengter Muskeltätigkeit wird das Glykogen abgebaut zu einfachen Zuckerarten, bis zu Traubenzucker, und im Stoffwechsel verbraucht (vgl. über das Leberglykogen oben p. 41).

Im ungereizten Zustande spielt sich der Stoffwechsel des Muskels auf einem niedrigen Niveau ab (Ruhestoffwechsel). Der Muskel nimmt Sauerstoff sowie kohlenstoff- und stickstoffhaltige Nahrungsstoffe usw. aus dem Blute und der Lymphe auf und scheidet dafür Kohlensäure, Milchsäure und stickstoffhaltige Produkte (Kreatin, Sarkin usw.) an die Lymphe und das Blut wieder ab. Wie jede lebendige Substanz, befindet sich der Muskel beim Ruhestoffwechsel im Stoffwechselgleichgewicht. Wird der Muskel aber durch Reizimpulse zur Kontraktion veranlaßt, so steigt die Intensität des Stoffwechsels plötzlich steil an, indem der Reiz primär eine dissimilatorische Erregung erzeugt, die dann, infolge der Selbststeuerung des Stoffwechsels, durch eine entsprechende Steigerung der Assimilation wieder ausgeglichen wird. Der physikalisch-morphologische Ausdruck dieser chemischen Prozesse ist die Muskelzuckung. Dabei muß es vorläufig noch dahingestellt bleiben, durch welche Energie-

form die Brücke geschlagen wird zwischen der chemischen Energie, welche im Stoffwechsel frei wird, und der mechanischen Arbeit, die der Muskel bei der Kontraktion leistet. Wahrscheinlich handelt es sich hier um eine direkte Umwandlung von chemischer Energie in Oberflächenenergie, die zur Verschiebung der Teilchen der lebendigen Substanz führt. Als chemische Äußerungen angestrengter Tätigkeit des Muskels sehen wir im wesentlichen eine Steigerung des Sauerstoff- und Glykogenverbrauchs, und dementsprechend eine vermehrte Kohlensäure- und Milchsäureproduktion (saure Reaktion). Auch der Phosphorumsatz wird etwas gesteigert. Dagegen tritt selbst bei angestrengtester Muskelarbeit keine bemerkenswerte Vermehrung des Stickstoffumsatzes ein. Die Stickstoffausscheidung bleibt im wesentlichen auf demselben Niveau wie beim Ruhestoffwechsel des Muskels. Daraus geht hervor, daß man zwei Seiten des Stoffwechsels zu unterscheiden hat: den zytoplastischen Stoffwechsel, der unabhängig von der funktionellen Inanspruchnahme des Muskels sich vollzieht und in einem umfangreicheren Zerfall und Aufbau der lebendigen Zellsubstanz bis in die stickstoffhaltigen Gruppen hinein besteht, und den funktionellen Stoffwechsel, der durch die funktionelle Inanspruchnahme des Muskels eine bedeutende Steigerung erfährt und sich nur auf den Umsatz von stickstofffreien Gruppen der lebendigen Substanz beschränkt. Diese Tatsache ist wichtig für die Frage nach der chemischen „Quelle der Muskelkraft“. Da bei der Arbeit des Muskels ein gesteigerter Umsatz nur innerhalb der stickstofffreien Gruppen seiner lebendigen Substanz stattfindet, so können sowohl die Eiweißkörper als auch die Kohlehydrate den bei seiner funktionellen Inanspruchnahme entstehenden Verlust decken. Der Fleischfresser deckt seinen Bedarf an Energie für die Muskeltätigkeit vorwiegend mit Eiweißnahrung und kann ihn bei reiner Fleischnahrung sogar allein mit Eiweiß bestreiten, der Pflanzenfresser deckt ihn ganz vorwiegend mit Kohlehydraten. Beide Stoffe können je nach den Nahrungsbedingungen als Energiequelle für die Muskelarbeit dienen.

Nachweis der alkalischen Reaktion des frischen Muskels. Die Schenkelmuskeln eines frisch getöteten Frosches werden mit einer Schere in kleine, wenige Millimeter große Stücke zerschnitten und in ein kleines Becherglas gebracht. Hier werden sie mit etwa 10—20 ccm einer wässerigen Säurefuchsinlösung vermischt, die so stark verdünnt ist, daß sie hellrot erscheint. Eine andere Quantität derselben Lösung wird zum späteren Vergleich zurückbehalten. Das Säurefuchsin wird bekanntlich von alkalischen Flüssigkeiten entfärbt, von sauren intensiv rot gefärbt. Man überzeugt sich davon im Reagenzglase, indem man zu einer schwachen Lösung einige Tropfen Alkalilauge bis zur Entfärbung, nach der Entfärbung einige Tropfen einer Säure bis zum Wiederkehren der Farbe hinzusetzt. Das Gemisch des Muskelbreies mit der Fuchsinlösung wird gut durchgerührt und bleibt dann 15 bis 30 Minuten stehen. Darauf wird die Masse auf einen Filter gebracht und die Flüssigkeit in ein Reagenzglas abfiltriert. In ein zweites Reagenzglas von gleichem Durchmesser bringt man zum Vergleich

dieselbe Menge von dem zurückbehaltenen Quantum der Fuchsinlösung und hält beide Reagenzgläser nebeneinander. Die Fuchsinlösung, in der die Muskelsubstanz liegt, ist je nach ihrer Verdünnung und der Dauer der Zeit mehr oder weniger vollständig entfärbt worden.

Nachweis der Säuerung des Muskels bei andauernder Tätigkeit. 12—18 Stunden vor dem Versuch werden einem Frosch mittels einer PRAVAZschen Spritze 3 ccm einer starken Säurefuchsinlösung (Lösung in Wasser) unter die Rückenhaut gespritzt. Der Frosch erträgt die Injektion ohne Schädigung und wird in einem feuchten Glasgefäß aufbewahrt. Zum Versuch stellt man von ihm ein doppeltes Schenkelpräparat her, indem man den Frosch wie zur Anfertigung eines Nerv-Muskelpräparates dekapitiert, auswirft, in der Mitte der Wirbelsäule quer durchschneidet und enthäutet. Nachdem der Ischiadicus der einen Seite hoch oben mit einem Faden angeschlungen und bis in die Tiefe des Beckens freipräpariert ist, hängt man das Präparat mit der Wirbelsäule an einem Muskelhalter auf. Man beobachtet bei der Präparation, daß die Fuchsinlösung vollständig resorbiert und entfärbt ist. Die Substanz der Muskeln hat ihre natürliche Farbe, nur die Sehnen sind etwas rötlich gefärbt. Trotzdem enthält die Muskelsubstanz beträchtliche Mengen von Fuchsin, das aber durch ihre alkalische Reaktion farblos geworden ist. Nunmehr tetanisiert man den einen Schenkel mittels eines Platinelektrodenpaares, indem man die Elektroden mit der Hand hält, mit zahlreich eingestreuten kurzen Pausen während einer halben Stunde, und zwar zunächst vom angeschlungenen Nerven aus, dann, wenn die Nervenendapparate beginnen zu ermüden und die Tetani allmählich immer schwächer und schwächer werden, durch direktes Anhalten an die Muskeln. Dabei ist sorgsam zu verhüten, daß nicht etwa Stromschleifen auf den anderen Schenkel übergehen, so daß er mitgereitzt wird. Man kann das verhindern, indem man den ruhenden Schenkel mittels einer Glasplatte seitwärts abbiegt. Während der Reizung und je mehr die Arbeitslähmung des Muskels fortschreitet, sieht man einen Farbenunterschied zwischen beiden Schenkeln sich entwickeln, der schließlich sehr stark ausgesprochen ist, namentlich wenn man das Präparat nach Beendigung der Reizung noch 15—30 Minuten ruhig hängen läßt. Der geruhte Schenkel hat seine normale Farbe vollkommen behalten. Der gereizte Schenkel ist intensiv rot geworden. Das in ihm aufgespeicherte und vorher entfärbte Fuchsin hat durch die Säuerung des Muskels seine rote Farbe wieder gewonnen.

Wärmestarre des Muskels. Gerinnung des Muskeleiweiß. Von einem curarisierten und getöteten Frosche werden die beiden

Gastrocnemii mit Oberschenkelknochen präpariert. Die Präparation erfolgt ebenso wie bei der Herstellung eines Nerv-Muskelpräparates (vgl. oben p. 145), nur ohne Erhaltung der Nerven. Das eine Präparat wird in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrt, das andere wird mit senkrecht nach unten gerichtetem Femur an einem Muskelhalter befestigt und unmittelbar an der Sehne mit einem Gewicht von 20 g belastet. Dann wird das Präparat in ein kleines, mit physiologischer Kochsalzlösung bis zum Rande gefülltes Becherglas gehängt, das auf einem Dreifuß mit Drahtgitter über einem Bunsenbrenner aufgestellt ist (Fig. 92). Der Muskel muß vollständig in die Lösung eintauchen. Das Gewicht darf den Boden des Becherglases nur eben berühren. Schließlich wird die Bunsenflamme schwach angedreht und die Flüssigkeit allmählich erwärmt. Mit einem Thermometer wird unter Umrühren der Kochsalzlösung das Steigen der Temperatur verfolgt. Sobald die Temperatur 40° C überschritten hat, beginnt die Verkürzung des Muskels, wie an dem Heben des Gewichtes zu bemerken ist. Mit steigender Temperatur wird die Verkürzung und Verdickung des Muskels immer stärker und seine Substanz immer trüber, weißlicher, undurchsichtiger. Bei 50° C unterbricht man die Erwärmung und nimmt den Muskel nach einigen Minuten heraus, legt ihn auf eine Glasplatte neben das frische Vergleichspräparat und sieht nunmehr durch den Vergleich deutlich, welche Veränderungen

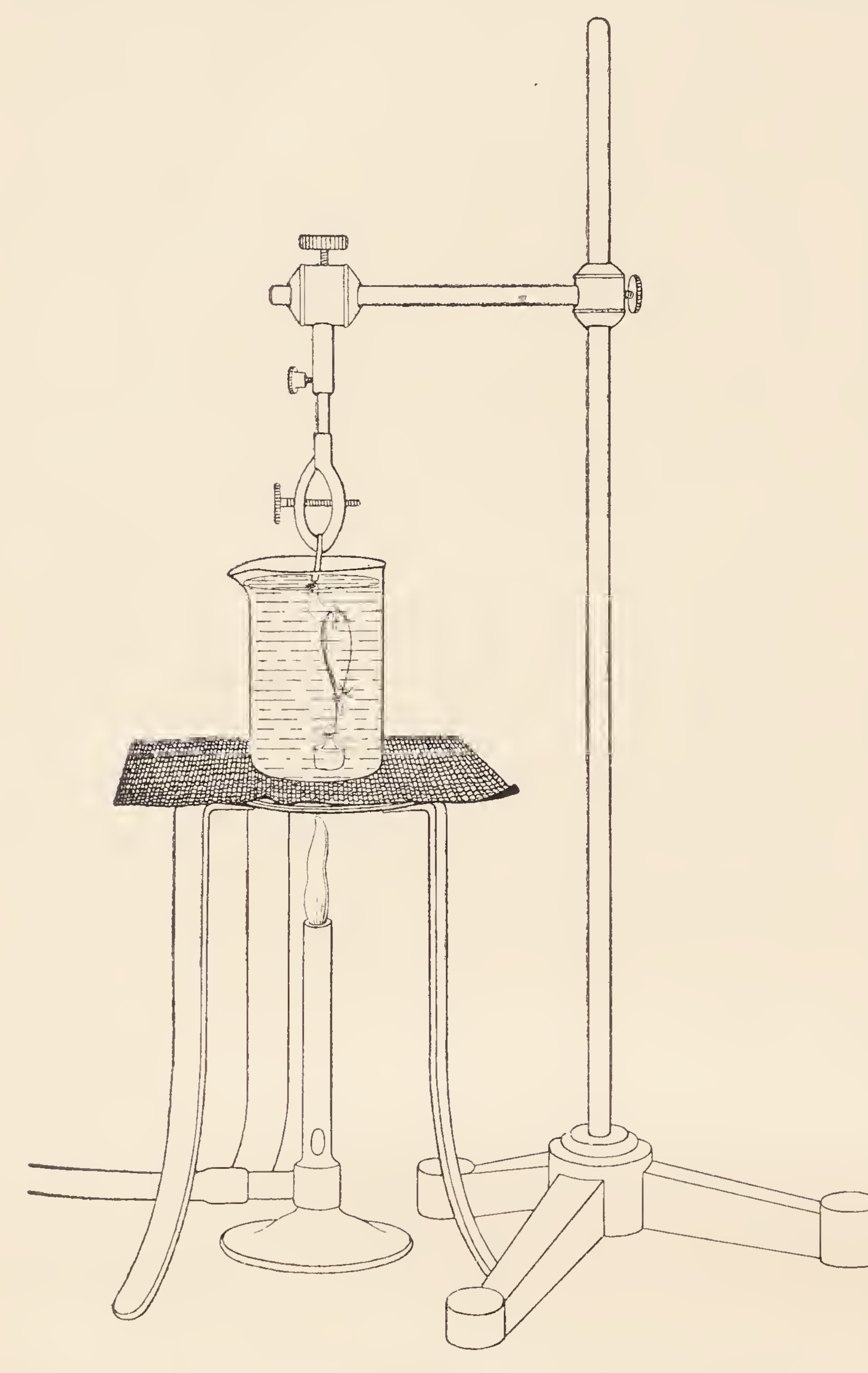


Fig. 92. Versuchsanordnung zur Demonstration der Wärmestarre des Muskels.

der Muskel bei der Wärmestarre erfahren hat. Er ist außerordentlich stark verkürzt und verdickt und gleicht einer gestielten Kugel. Sein Aussehen ist weißlich-trübe. Seine Substanz ist infolge der Gerinnung des Muskeleiweißes starr und steif geworden, wie ein Betasten mit dem Finger zeigt.

VIII. Elektrizitätsproduktion.

Alle Formen der lebendigen Substanz können Elektrizität produzieren. Die elektrischen Ströme, welche von den lebendigen Objekten abgeleitet werden können, sind aber in der Regel so schwach, daß es zu ihrem Nachweise sehr empfindlicher Mittel bedarf. Nur die elektrischen Fische, die ein elektrisches Organ besitzen, das die Produktion von Elektrizität als eine Spezialität entwickelt hat, vermögen Ströme oder Schläge von recht beträchtlicher Stärke zu erzeugen.

Die Elektrizitätsproduktion der lebendigen Substanz ist nur ein spezieller Fall der Elektrizitätsproduktion bei chemischen Prozessen und unterliegt denselben Gesetzen wie diese. Von einem chemischen System, in dem chemische Umsetzungen stattfinden, kann nur unter bestimmten Bedingungen ein elektrischer Strom abgeleitet werden, nämlich nur, wenn an den beiden Ableitungsstellen quantitative oder qualitative Differenzen im chemischen Geschehen vorhanden sind und wenn die dabei frei werdenden Anionen (negative Ionen) eine andere Diffusionsgeschwindigkeit haben, als die dabei frei werdenden Kationen (positive Ionen). Zerfallen z. B. die Moleküle einer elektrisch indifferenten Verbindung in elektrisch geladene Bestandteile, so treten dabei Anionen und Kationen in gleicher Menge auf. Findet nun der Prozeß durch das ganze chemische System hindurch in gleichem Umfange und zu gleicher Zeit statt, so ist von dem System kein elektrischer Strom abzuleiten, denn es entstehen überall ebensoviel Ionen mit positiver wie mit negativer Ladung. Es fehlt an den Ableitungsstellen jede Differenz in der elektrischen Ladung. Findet dagegen der Prozeß nur an der einen Ableitungsstelle statt und nicht an der anderen, so läßt sich ein elektrischer Strom ableiten in dem Falle, daß die dabei frei werdenden Anionen und Kationen verschieden schnell wegdiffundieren. In diesem Falle entstehen Differenzen in der Ladung, die durch Schließung eines Leitungsbogens in Form eines galvanischen Stromes ausgeglichen werden. Das gleiche ist der Fall, wenn der chemische Prozeß an der einen Ableitungsstelle mit größerer Intensität abläuft als an der anderen, oder wenn an der einen Ableitungsstelle ein anderer Prozeß unter Freiwerden einer größeren oder geringeren Ionenmenge sich abspielt als an der anderen, aber immer vorausgesetzt, daß die dabei an beiden Stellen freiwerdenden Anionen und Kationen verschiedene Wanderungsgeschwindigkeit haben. In allen diesen Fällen treten infolge der Differenzen in der Konzentration gleichnamiger Ionen elektrische Ladungen auf, die im Ableitungsbogen einen Strom liefern.

Diese selben Gesetze beherrschen auch die Elektrizitätsproduktion der lebendigen Substanz. Irgendein lebendiges Objekt kann einen Strom liefern, wenn in seinem Stoffwechsel die obigen Bedingungen erfüllt sind.

Daher liefert z. B. ein unverletzter ruhender Muskel keinen Strom, denn die Stoffwechselprozesse sind an allen Punkten in ihm gleich. Dagegen liefert der Muskel einen Strom („Demarkationsstrom", „ruhender Muskelstrom"), wenn man einerseits von einer verletzten, andererseits von einer unverletzten Stelle ableitet, denn an der verletzten Stelle ist der Sitz von Absterbeprozessen, an der unverletzten bestehen die normalen Stoffwechselprozesse, es herrscht also eine Differenz zwischen beiden Stellen. Dabei ist die verletzte Stelle negativ gegenüber der unverletzten. Ebenso läßt sich ein Strom („Aktionsstrom") ableiten, wenn der unverletzte Muskel an der einen Ableitungsstelle in Ruhe, an der anderen in Tätigkeit (Kontraktion) sich befindet, denn dann sind die Stoffwechselprozesse an der tätigen Stelle gegenüber der ruhenden gesteigert, erregt. Dabei verhält sich die tätige Stelle wieder negativ zur ruhenden Stelle. Leitet man aber von einem ruhenden verletzten Muskel den „Demarkationsstrom" ab, und setzt man dann den Muskel in Tätigkeit, etwa indem man ihn tetanisiert, so erfährt der Demarkationsstrom eine Abnahme („negative Schwankung"), weil mit der Steigerung des Stoffwechsels die unverletzte Oberfläche ebenfalls negativ wird, wie die verletzte Ableitungsstelle, so daß die Differenz der Ladung an beiden Ableitungsstellen vermindert resp. ganz ausgeglichen wird. Beim Nerven bestehen dieselben Verhältnisse. Der unverletzte ruhende Nerv ist stromlos. Leitet man aber bei einem herausgeschnittenen Nerven einerseits vom Querschnitt, andererseits von der unverletzten Oberfläche ab, so erhält man einen „Demarkationsstrom" oder ruhenden Nervenstrom. Der Querschnitt ist negativ. Ferner: leitet man von einem unverletzten Nerven ab und läßt einen nervösen Impuls, eine Erregungswelle durch den Nerven hindurchgehen, so verhält sich die Ableitungsstelle, an der gerade momentan die Erregungswelle angelangt ist, gegenüber der noch in Ruhe befindlichen Ableitungsstelle wiederum negativ, und es entsteht ein „Aktionsstrom". Ebenso wie beim Muskel wird der Demarkationsstrom des Nerven durch den Aktionsstrom geschwächt, es entsteht eine „negative Schwankung". Bei Drüsenzellen, Schleimhautzellen usw., bei denen an zwei entgegengesetzten Polen immer Differenzen im Stoffwechsel bestehen, läßt sich stets ein Strom ableiten. Kurz, die obige Gesetzmäßigkeit gilt für alle lebendige Substanz.

Der Nachweis der Ströme kann mit sehr verschiedenen Mitteln geführt werden. Die eine Gruppe von stromprüfenden Mitteln besteht in Apparaten, die das Prinzip benutzen, daß ein frei beweglicher Magnet, an dem ein Strom vorbeifließt, im Sinne der Ampèreschen Regel abgegelenkt wird. Die Ampèresche Regel sagt: Wenn man sich in der Richtung des Stromes selbst schwimmend denkt und den Nordpol der Magnetnadel ansieht, so findet die Ablenkung des Nordpols nach der Richtung der ausgestreckten linken Hand statt. Diese Tatsache ist verwertet im Multiplikator, bei dem der Strom durch eine ungeheure Zahl von Drahtwindungen um ein an einem Kokonfaden aufgehängtes astatisches (zur Ausschaltung der Wirkung des Erdmagnetismus) Magnetnadelpaar herumgeleitet und so in seiner Wirkung verstärkt wird, sowie im Galvanometer, bei dem der Magnet die Form eines Ringes hat und einen Spiegel trägt, an dem man mit einem Fernrohr aus der Verschiebung des Spiegelbildes einer Skala die Größe der Ablenkung des Magneten ablesen kann. Ein anderes Mittel zum Nachweis schwacher, namentlich momentan

ablaufender Ströme ist das Kapillarelektrometer, das auf dem Prinzip beruht, daß die Oberflächenspannung eines Quecksilbertropfens gegenüber einer verdünnten Schwefelsäurelösung beim Hindurchgehen eines galvanischen Stromes erhöht und so das Quecksilber zu einer Bewegung veranlaßt wird. Die Grenzschicht zwischen Quecksilber und Schwefelsäure ist in einer Kapillarröhre eingeschlossen und man beobachtet ihre Verschiebung beim Durchgang eines Stromes mit dem Mikroskop resp. projiziert dieselbe und photographiert sie in Form einer Kurve auf einer schnell vorbeigeführten photographischen Platte. In neuerer Zeit wird besonders häufig ein vierter Apparat zum Nachweis der Elektrizitätsproduktion verwendet, der wieder auf einem anderen Prinzip beruht. Es ist das EINTHOVENsche Saitengalvanometer. Das Saitengalvanometer besteht in einem äußerst dünnen Platinfaden oder versilberten Quarzfaden, der zwischen den Polen eines Elektromagneten aufgespannt ist. Diese Saite erfährt eine Ablenkung im Moment, wo ein auch nur äußerst schwacher Strom durch sie hindurchgeht. Auch die Ausschläge der Saite können photographisch registriert werden. Schließlich kann zum Nachweis der elektrischen Ströme, welche das lebendige Objekt produziert, auch das einfache Nervmuskelpräparat dienen als sog. „physiologisches Rheoskop“, indem der Strom, den das betreffende Objekt produziert, benutzt wird zur Reizung des Nerven eines Nervmuskelpräparates, so daß der Muskel des letzteren zuckt. So kann man z. B., indem man den Nerven eines Nervmuskelpräparates auf einen anderen Muskel legt und den letzteren durch einen Reiz zur Zuckung veranlaßt, in dem Muskel des Nervmuskelpräparates ebenfalls eine Zuckung erhalten, die man als „sekundäre Zuckung“ bezeichnet. Legt man den Nerv eines Nervmuskelpräparats auf das zuckende Herz eines Kaninchens, so zuckt der Muskel des Nervmuskelpräparats, gereizt durch den Aktionsstrom des Herzens, ebenfalls im Rhythmus des Herzschlages. Legt man auf einen Muskel eines Nervmuskelpräparats den Nerven eines zweiten Nervmuskelpräparates auf und tetanisiert man den ersteren Muskel von seinem Nerven aus, so entsteht zu gleicher Zeit im Muskel des zweiten Nervmuskelpräparates ein „sekundärer Tetanus“.

Ablenkung der Magnetnadel durch den Muskelstrom. Negative Schwankung. Ein paar unpolarisierbare Pinselelektroden (vgl. letztes Kapitel), deren Pinsel sehr sorgsam in physiologischer Kochsalzlösung ausgewaschen sind, werden durch Drähte auf dem Wege über einen Quecksilberschlüssel mit den Klemmschrauben eines Multiplikators verbunden. Der Multiplikator (Fig. 93 u. 94) muß so aufgestellt sein, daß das astatische Nadelpaar an seinem Kokonfaden vollkommen frei und ohne Reibung schwingen kann. Das wird durch sorgfältiges Nivellieren mittels der drei Stellschraubenfüße allmählich erzielt. Die Drahtenden der um die untere Nadel des astatischen Nadelpaares herumgeführten Drahtwindungen stehen mit den Klemmschrauben in Verbindung, an denen die stromzuleitenden Drähte befestigt werden. Ist alles fertig aufgestellt, so wird ein frisches Nervmuskelpräparat (Gastrocnemiuspräparat) von einem kräftigen Frosch angefertigt. Das dem Nerveneintritt gegenüberliegende

Ende des Muskels (Achillessehnenende) wird nahezu bis gegen die Mitte des Muskels hin durch einen queren Scherenschnitt abgeschnitten. Das Präparat wird sodann auf eine reine Glasplatte gelegt. Schließlich werden die beiden Pinselspitzen der unpolarisierbaren Elektroden so an das Präparat angelegt, daß die eine genau den Querschnitt, die andere die unverletzte Oberfläche des Muskels berührt. Wird nunmehr der Kreis durch den Quecksilberschlüssel geschlossen, so gibt die bisher in Ruhe befindliche Magnetnadel des Multiplikators einen Ausschlag und stellt sich nach einigen Schwankungen in eine neue Ruhelage ein, die ihrer Ablenkung durch den „ruhenden Muskelstrom" (Demarkationsstrom) entspricht. Man überzeugt sich dabei auf Grund der AMPÈREschen Regel, daß der Querschnitt des Muskels sich negativ, die unverletzte Oberfläche sich positiv verhält, d. h., daß der Muskelstrom von der unverletzten Oberfläche durch den Multiplikator zurück zum Querschnitt des Muskels geht. Öffnet man den Stromkreis, so kehrt die Magnetnadel wieder in ihre ursprüngliche Ruhelage zurück. Ist der Stromkreis von neuem geschlossen und hat die Magnetnadel die dem Demarkationsstrom des Muskels entsprechende Stellung wieder eingenommen, so legt man vorsichtig die mit der sekundären Spirale eines Schlitteninduktoriums verbundenen Platinelektroden an den Nerven des Präparates an und tetanisiert den Muskel vom Nerven aus, wobei darauf zu achten ist, daß er sich bei seiner Kontraktion nicht von den Berührungsstellen mit den Elektroden abhebt. Während des Tetanisierens bemerkt man ein Zurückgehen der Magnetnadel von ihrer dem Demarkationsstrom entsprechenden Lage nach ihrer ursprünglichen Ruhelage hin.

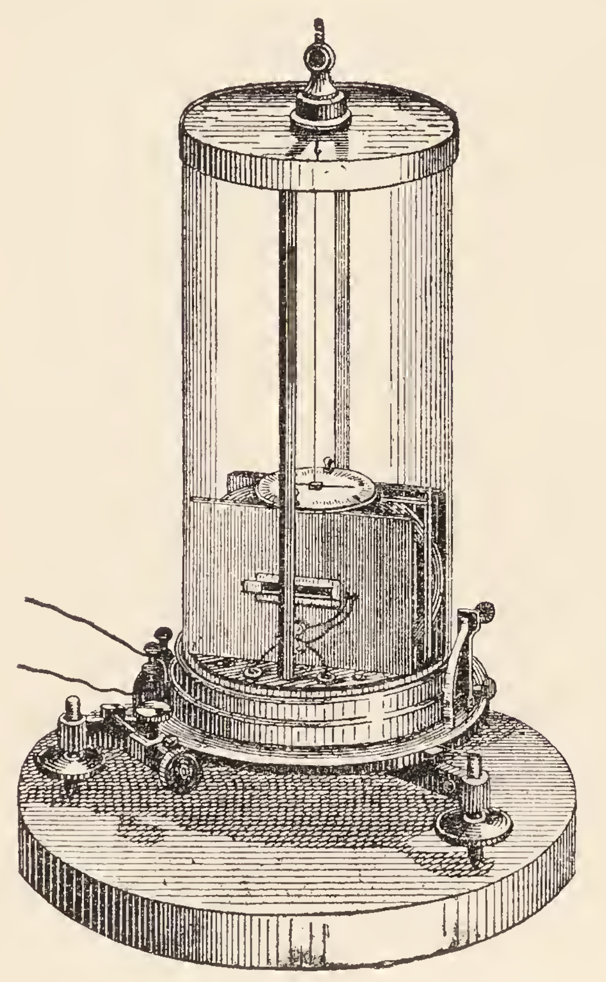


Fig. 93. Multiplikator.

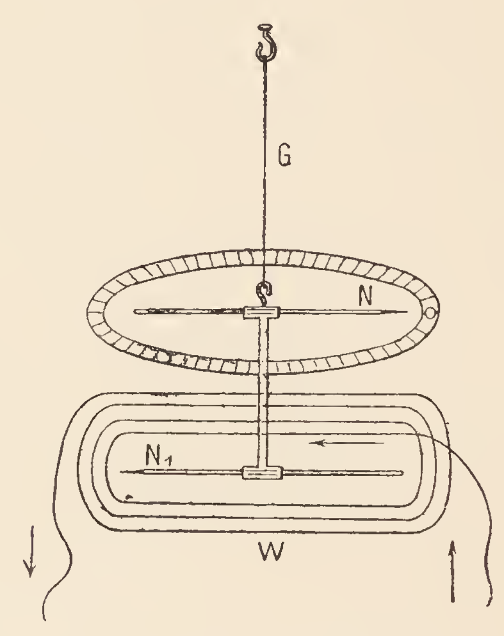


Fig. 94. Schema der Multiplikatoreinrichtung. *C* Kokonfaden. *N* Nordpol der einen, N_1 Nordpol der anderen Magnetnadel des astatischen Nadelpaares. *W* Drahtwindungen. Die Pfeile geben die Richtung des zugeleiteten Stromes an.

Das ist die „negative Schwankung“ DU BOIS REYMONDS. Der Demarkationsstrom wird durch den Aktionsstrom geschwächt, weil die unverletzte Muskelsubstanz, die sich während der Ruhe im Verhältnis zu dem negativen Querschnitt positiv verhielt, bei der Tätigkeit ebenfalls negativ wird. Hört man mit dem Tetanisieren auf, so nimmt die Magnetnadel die dem Demarkationsstrom entsprechende Lage wieder ein; öffnet man den Stromkreis, so kehrt sie in ihre ursprüngliche Ruhelage zurück.

Ablenkung der Magnetnadel durch den Schleimhautstrom. Die Versuchsanordnung ist dieselbe wie im vorigen Versuch. Als Präparat dient die Mastdarmschleimhaut des Frosches. Von einem frisch getöteten Frosch wird das untere Ende des Darmes durch zwei quere Scherenschnitte in der Ausdehnung von 1 bis 2 cm herausgeschnitten und durch einen Längsschnitt flächenhaft auseinandergelegt. Dieses Präparat wird mit der Außenfläche des Darmes auf einen kleinen Klumpen von plastischem Kochsalzton (vgl. letztes Kapitel) aufgelegt, der in stumpfer Kegelform auf eine Glasplatte oder ein umgestülptes Becherglas aufgesetzt ist. Schließlich werden die Elektrodenpinsel so angelegt, daß der eine die Innenfläche der Darmschleimhaut, der andere einen vom Präparat nicht allzufernen Punkt des Tonklumpens berührt. Bei Schließung des Stromkreises zeigt die Magnetnadel einen Strom an, der von der Innenfläche des Darmes nach der Außenfläche gerichtet ist. Es ist also die Schleimhautfläche des Darmes negativ gegenüber der Außenfläche, die sich positiv verhält.

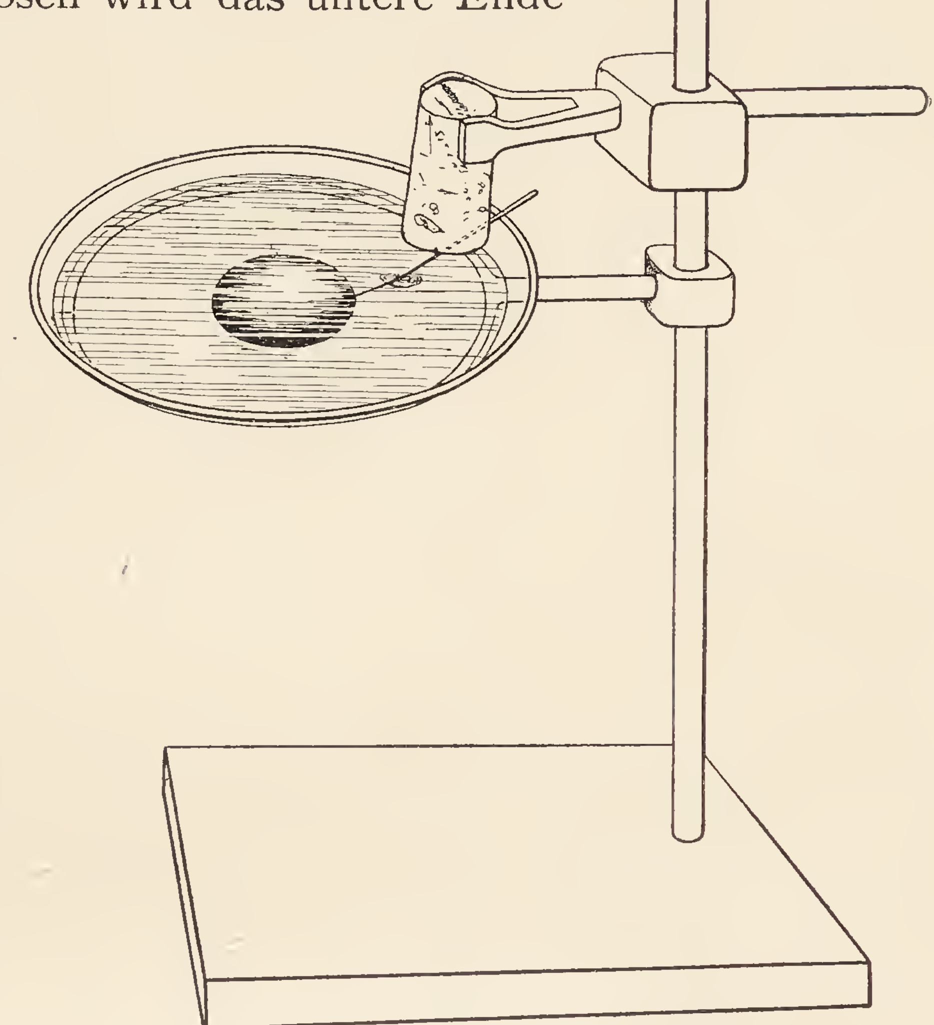


Fig. 95. Sogen. physikalisches Herz. In der Glasschale befindet sich eine Lösung von verdünnter Schwefelsäure mit etwas chromsaurem Kali. Darin liegt der große Quecksilbertropfen, der von einer Stahlnadel an der Peripherie berührt wird.

Das Ostwaldsche „physikalische Herz“. Zur Demonstration des Prinzips, auf dem das Kapillarelektrometer beruht, eignet sich

besonders der folgende physikalische Versuch. Eine flache Uhrschale von ca. 12—15 cm Durchmesser wird auf einem Stativ mit wagerechtem Ring aufgestellt (Fig. 95) und mit 10proz. Schwefelsäure gefüllt, der man einige Tropfen Kaliumbichromatlösung $K_2Cr_2O_7$ hinzugefügt hat, so daß die Flüssigkeit leicht gelb erscheint. In diese Lösung bringt man eine etwa zwei- bis dreimarkstückgroße Masse von gereinigtem Quecksilber. Sodann befestigt man an einem anderen Arm des Stativs einen Kork, durch den eine spitze Stahlnadel schräg nach unten hindurchgesteckt ist, so daß die Spitze der Nadel in die Flüssigkeit eintaucht und den äußersten Rand der Quecksilbermasse eben gerade berührt. In dem Moment der Berührung wird man bemerken, wie der Quecksilbertropfen an seiner ganzen Peripherie eine Kontraktion ausführt, so daß sich sein Rand von der Nadelspitze abhebt. Durch die Berührung der beiden Metalle (Eisen und Quecksilber) untereinander einerseits und mit einem feuchten Leiter (Lösung) andererseits wird bekanntlich ein galvanischer Strom erzeugt. Indem dieser Strom durch den Quecksilbertropfen hindurchgeht, erhöht er dessen Oberflächenspannung, so daß der Tropfen sich stärker kontrahiert, d. h. mehr der Kugelform nähert. Dadurch wird der Kontakt zwischen Quecksilber und Nadel aufgehoben, also auch der galvanische Strom unterbrochen. Infolgedessen wird die Oberflächenspannung des Quecksilbers wieder geringer und der Tropfen dehnt sich wieder aus, bis er die Nadel wieder berührt, so daß von neuem ein Strom entsteht, der wieder eine Kontraktion des Quecksilbers veranlaßt, u. s. f. Auf diese Weise pulsiert der Quecksilbertropfen in rhythmischer Weise fort, wobei häufig durch Interferenz der Bewegungsphasen infolge des Trägheitsmomentes der Quecksilbermasse periodisch die anmutigsten Konfigurationen entstehen. Die Bewegungen des Quecksilbertropfens können unter günstigen Bedingungen stundenlang fortdauern. Der Versuch ist auch insofern interessant, als er eine einfache physikalische Analogie zu der Bewegung amöboider Zellen liefert, die ebenfalls physikalisch lediglich der Ausdruck von lokalen oder totalen Veränderungen in der Oberflächenspannung ihrer flüssigen Protoplasmamassen bilden. Die Kontraktionsphase (Einziehung der Pseudopodien) entspricht einer Erhöhung, die Expansionsphase (Vorwölbung von Pseudopodien) einer Verminderung der Oberflächenspannung. Auf der Erhöhung der Oberflächenspannung des Quecksilbers gegen Schwefelsäure und der damit verbundenen Kontraktion der Quecksilbermasse beruht die Einrichtung des Kapillarelektrometers, bei dem sich in einer Kapillarröhre, die an beiden Enden mit stromzuleitenden Drähten verbunden ist, eine Grenze von Quecksilber und Schwefelsäure befindet, deren Verschiebung beim Durchgang eines Stromes man mit einem Mikroskope beobachten kann.

Nachweis der Aktionsströme des Herzens mit dem Kapillarelektrometer. Auf Grund des obigen Prinzips sind Kapillarelektrometer in verschiedenen Formen konstruiert worden. Eine der ge-

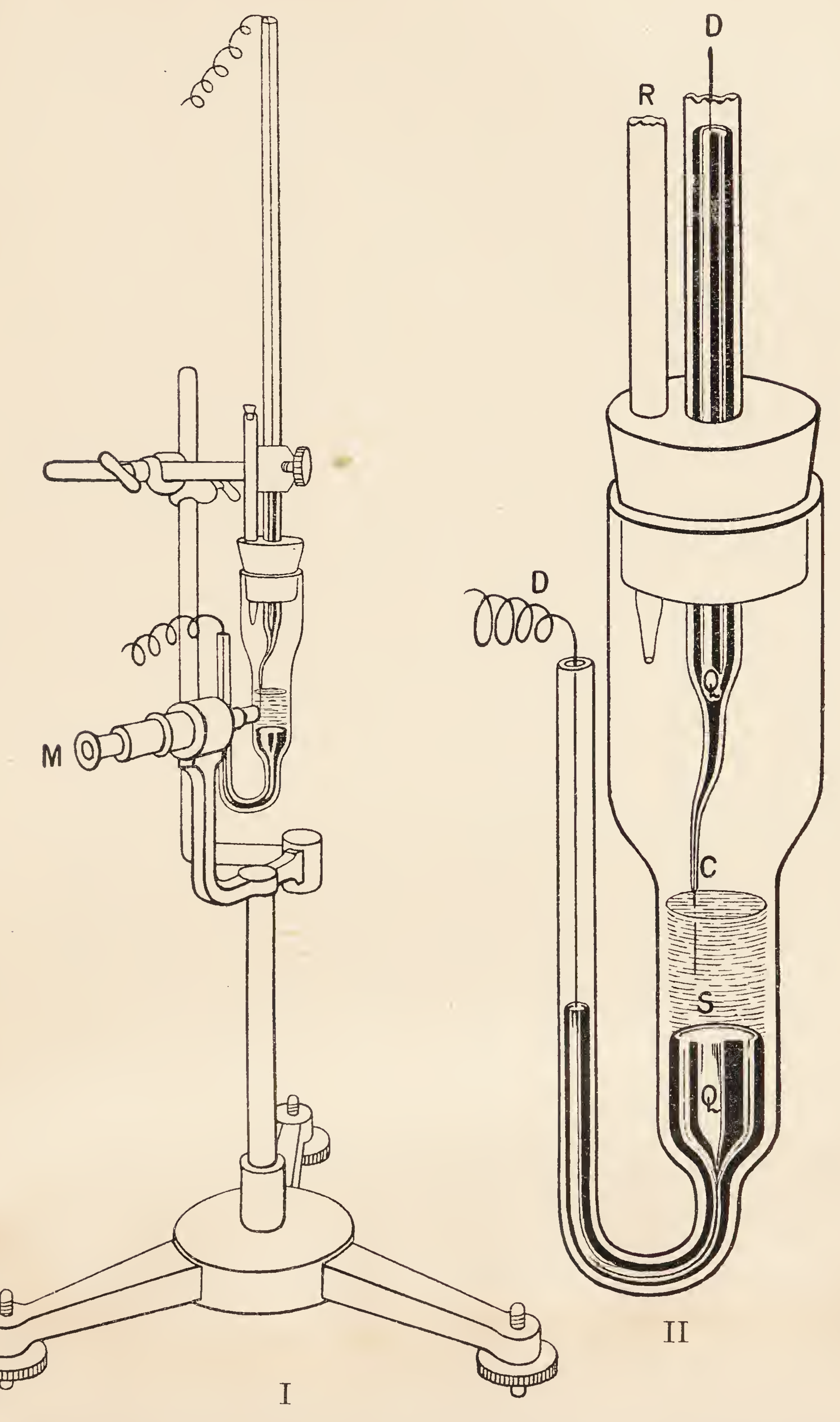


Fig. 96. Kapillarelektrometer. I Der vollständige Apparat mit Stativ verkleinert. II Das Quecksilberschwefelsäuregefäß mit der Kapillare in natürlicher Größe. *M* Mikroskop. *D*, *D* zuleitende Drähte, *C* Kapillare, *Q* Quecksilber, *S* Schwefelsäure, *R* Glasröhre zum Einfüllen.

bräuchlichsten Formen ist die folgende (Fig. 96). An einem schweren und festen Eisenstativ befindet sich ein zum Teil mit Quecksilber *Q*, zum Teil mit verdünnter Schwefelsäure *S* gefülltes Glasgefäß, das seitwärts in eine längere Glasröhre zur Aufnahme des einen zuleitenden Platindrahtes *D* übergeht. Das die Schwefelsäure enthaltende Rohr ist an seinem oberen Ende mit einem durchbohrten Gummistopfen verschlossen, durch den eine nach unten hin in eine Kapillare *C* ausgezogene Glasröhre hindurchgeht, so daß das Ende dieser Kapillare in die Schwefelsäure eintaucht. In der Glasröhre befindet sich das Quecksilber *Q* derart, daß es innerhalb der Kapillare an die Schwefelsäure grenzt. Die Grenze zwischen Quecksilber und Schwefelsäure kann durch vorsichtiges Hineinfüllen von Quecksilber in die mittlere Glasröhre des Schwefelsäuregefäßes an einer geeigneten Stelle der Kapillare eingestellt und dauernd erhalten werden. In das Schwefelsäuregefäß sowohl wie in die Quecksilbersäule ragt je ein Platindraht *D*, an dem je ein stromzuleitender Draht befestigt werden kann. In horizontaler Richtung vor dem Schwefelsäuregefäß mit der Kapillare befindet sich ein durch eine Stellschraube verschiebbarer Mikroskoptubus *M*. Die Grenze von Quecksilber und Schwefelsäure in der Kapillare wird so eingestellt, daß sie gerade durch das Mikroskop zu beobachten ist. Wenn der Apparat in dieser Weise gegen das Fenster hin aufgestellt ist, wird er durch Vermittelung eines Vorreiberschlüssels (siehe letztes Kapitel) mit den unpolarisierbaren Pinselelektroden verbunden. Als Präparat dient das freigelegte Herz (vgl. p. 94) eines größeren, schwach curarisierten Frosches, der in Rückenlage auf einer Korkplatte befestigt ist. Von den Elektrodenpinseln wird der eine mit der Spitze auf den Ventrikel des schlagenden Herzens, der andere auf einen nicht zu fern gelegenen Punkt der Baucheingeweide oder der Bauchmuskeln aufgelegt. Schließt man nunmehr, während man die Grenze zwischen Quecksilber und Schwefelsäure durch das Mikroskop beobachtet, den Stromkreis durch den Quecksilberschlüssel, so sieht man, wie die Quecksilbersäule im Rhythmus des Herzschlages sich abwechselnd nach unten und nach oben im Gesichtsfelde verschiebt. Der rhythmisch tätige Herzmuskel liefert rhythmisch entstehende und vergehende Aktionsströme, die in rhythmischer Weise die Oberflächenspannung des Quecksilbers gegen die Schwefelsäure erhöhen und so zu rhythmischen Pulsationen des Quecksilbers in der Kapillare Anlaß geben.

Nachweis der Aktionsströme des Kaninchenherzens durch das Nervmuskelpräparat vom Frosch. Sekundäre Zuckung. Bei einem chloralisierten Kaninchen wird in der oben p. 99 beschriebenen Weise der Thorax geöffnet und das Herz frei gelegt.

Sodann wird ein frisch hergestelltes Nervmuskelpräparat (Schenkelpräparat) vom Frosch (vgl. 145) so auf eine mit physiologischer Kochsalzlösung befeuchtete Glasplatte gelegt, daß der Nerv über die Kante herunterhängt. Nachdem durch einen frischen Querschnitt durch das Nervenende der Präparationsfaden abgetrennt ist, wird der herunterhängende Nerv der Länge nach über das Kaninchenherz gelegt, während der Schenkel auf der Glasplatte liegen bleibt. Sofort nach dem Auflegen beginnt der Froschschenkel im Rhythmus des Herzschlages zu zucken, weil sein Nerv von den rhythmischen Aktionsströmen des Herzens rhythmisch gereizt wird. Es ist wichtig für diesen Versuch, daß einerseits die Herztätigkeit des Kaninchens nicht zu schwach geworden und daß andererseits das Nervmuskelpräparat frisch, d. h. gut erregbar ist.

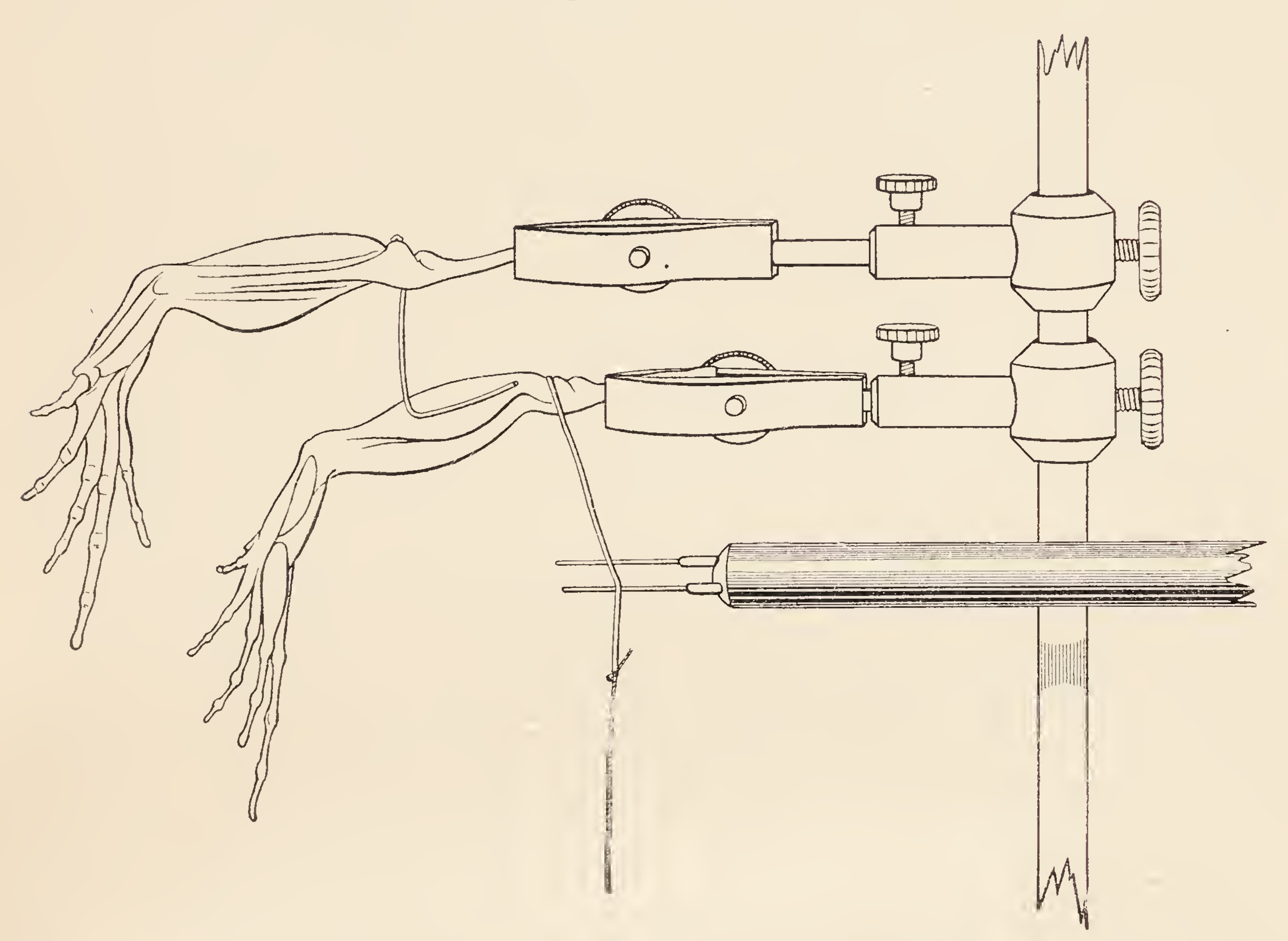


Fig. 97. Sekundäre Zuckung und sekundärer Tetanus. An einem Stativ befinden sich die beiden Muskelhalter mit den Nervmuskelpräparaten. Der Nerv des oberen Präparats liegt auf den Muskeln des unteren, der Nerv des unteren liegt auf den Platinelektroden.

Sekundäre Zuckung und sekundärer Tetanus von einem Nervmuskelpräparat zu einem anderen. Von einem kräftigen Frosch werden zwei Nervmuskelpräparate (Schenkelpräparate) hergestellt (vgl. p. 145) und an einem Stativ durch zwei horizontale Muskelhalter so befestigt, daß sie in geringem Abstande parallel übereinander und horizontal ausgestreckt sind (Fig. 97). Darauf wird der Nerv des oberen der Länge nach über den des unteren

gelegt. Wird nunmehr der Nerv des unteren durch einen einzelnen Induktionsschlag gereizt, so daß das untere Präparat zuckt, so führt auch das obere Präparat eine Zuckung aus, da sein Nerv durch den Aktionsstrom des unteren sekundär gereizt wird. Wird der Nerv des unteren Präparats tetanisiert, so verfällt auch das obere Präparat in sekundären Tetanus.

IX. Nervensystem.

Das Nervensystem stellt die oberste Verwaltungsbehörde des tierischen Zellenstaates vor. Seine Tätigkeit besteht darin, daß es die von der Peripherie des Körpers kommenden Erregungen nach den zentralen Stationen leitet, hier in bestimmter Weise umformt, auf bestimmte Geleise umschaltet und schließlich wieder nach den einzelnen peripherischen Organen befördert. Seine Grundfunktionen sind also die Übertragung und Umformung von Erregungen. Dabei ergibt sich ein ziemlich einfaches Verhältnis insofern, als von allen Reizwirkungen, die an der Peripherie oder im Zentrum entstehen können, nur allein die dissimilatorischen Erregungen aktiv seitens des Nervensystems geleitet werden, dagegen keine assimilatorischen Prozesse und keine Lähmungen oder Hemmungen. Die dissimilatorische Erregung, welche das Nervensystem aktiv fortleitet, bildet allein den sogenannten nervösen Impuls. Die „Nervenleitung" besteht also in der Übertragung einer dissimilatorischen Erregung von Querschnitt zu Querschnitt durch die ganze Nervenbahn hindurch und ist daher bedingt durch die Erregbarkeit jedes Querschnittes. Über ihre Geschwindigkeit siehe oben p. 161. In den jeweiligen Endstationen dagegen kann der nervöse Impuls die verschiedenartigsten Reizwirkungen je nach der spezifischen Energie (Leistung) des Erfolgsorgans (Zentrum, Muskel, Drüse, elektrisches Organ usw.) und zwar sowohl Erregungen als auch Hemmungen der spezifischen Tätigkeit hervorrufen. Manche Erfolgsorgane (Zentra, Sphinkteren, Gefäßmuskeln usw.) werden durch andauernde Reizimpulse, sei es von der Peripherie, sei es von den zentralen Teilen her in dauernder Erregung gehalten. Einen solchen Zustand dauernder Erregung bezeichnet man als Tonus (vgl. oben Vasomotorenzentrum p. 112, Vaguszentrum p. 94, Gefäßmuskulatur p. 143).

An den Grundfunktionen des Nervensystems nehmen die einzelnen histologischen Bestandteile des Nervensystems in sehr verschiedener Weise teil. Schon seit Beginn der histologischen Forschung unterscheiden wir zwei verschiedene Bestandteile des Nervensystems: die Ganglienzellen und die Nervenfasern. Die alte Streitfrage über die Beziehung dieser beiden Bestandteile zueinander, die bekanntlich mit der Neuronenlehre wieder neu aufgelebt war, ist in den letzten Jahren durch entwicklungsgeschichtliche Untersuchungen namentlich von Ramón y Cajal und durch direkte Experimente von Harrison in dem Sinne entschieden worden, daß die Nervenfasern nicht, wie die Zellenkettentheorie annahm, aus zahllosen aneinander gereihten Zellen entstehen, sondern daß die Achsenzylinder das Produkt resp. die lang ausgewachsenen Fortsätze von Ganglien-

zellen sind, so daß jeder Achsenzylinder mit der zugehörigen Ganglienzelle eine einzige zellulare Einheit, ein „Neuron" bildet. Die Elementarfibrillen im Achsenzylinder der Neurone können dabei die Ganglienzellkörper anderer Neurone durchwachsen und mit den Elementarfibrillen der letzteren vereinigt zu einem Bündel in einer Nervenfaser weiterziehen. Obwohl nun also der Achsenzylinder mit seiner Ganglienzelle eine zellulare Einheit bildet, sind doch beide Bestandteile des Neurons in ihren physiologischen Eigenschaften stark differenziert. Während wir von den Nervenfasern nur die Funktion der Leitung kennen und wissen, daß sie im intakten Körper eine dissimilatorische Erregung mit derselben Intensität, mit der sie dieselbe empfangen haben, weiterleiten, sind die Ganglienzellen die Sitze der Umformung von Erregungen. Hier können die eintreffenden Erregungen verstärkt, abgeschwächt, gehemmt werden und völlig erlöschen. Hier kann ihr zeitlicher Ablauf in die Länge gezogen und in einen Rhythmus umgeformt werden, so daß die Erregungen tonischen Charakter annehmen usw. Die Nervenfasern sind ferner im intakten Körper völlig unermüdbar, die Ganglienzellen dagegen ermüden sehr leicht. Nervöse Ermüdung und Erschöpfung ist im normalen Getriebe des Körpers niemals in den Nervenfasern, sondern immer in den Ganglienzellen oder in den Nervenendorganen lokalisiert. Das Refraktärstadium, das sich nach jeder einzelnen Reizung bei aller lebendigen Substanz entwickelt, ist bei den Nervenfasern des Frosches unter normalen Verhältnissen sehr kurz (etwa 0,002—0,005 Sekunden), bei den Ganglienzellen beträgt es 0,05—0,1 Sekunden. Die Nervenfasern sind verhältnismäßig resistent gegen Sauerstoffmangel und viele andere Schädlichkeiten, die Ganglienzellen sind dagegen ungemein empfindlich. So zeigen sich zahlreiche und tiefgehende funktionelle Verschiedenheiten zwischen den beiden Differenzierungen des Neurons.

Streng gesetzmäßig angeordnete Ketten von Neuronen bilden die Bahnen, auf denen das physiologische Geschehen im Nervensystem abläuft. Obwohl dabei Verbindungen und Zusammenhänge der einzelnen Neurone nach den verschiedensten Richtungen hin mit anderen Neuronen bestehen, laufen die Erregungen dennoch unter physiologischen Verhältnissen von bestimmten Punkten her, wo der Reizimpuls einsetzt, auch immer nur auf bestimmten Bahnen ab. Das erklärt sich einerseits aus der Tatsache, daß jede Nervenfaser, auch wenn sie mit anderen noch so dicht zusammenliegt, stets isolierte Erregungsleitung besitzt, und andererseits aus dem Umstande, daß an verschiedenen zentralen Stationen durch Verschiedenheiten in der Erregbarkeit oder Impulsentladungsintensität verschieden große Widerstände für die Erregungsleitung gegeben sind. Solche Widerstände können auf bestimmten Bahnen (z. B. im Großhirn) durch Übung vermindert werden, indem die Impulsentladung durch funktionelle Vergrößerung der Ganglienzellkörper auf bestimmten Stationen gesteigert wird (Ausschleifen der Bahnen, Gedächtnis). Solche Widerstände können auch beseitigt werden, indem die Erregbarkeit an bestimmten Stationen erhöht wird, wie es z. B. in den Hinterhörnern des Rückenmarks durch Strychninvergiftung geschieht. Im letzteren Fall kann ein punktförmig an der Peripherie einwirkender Reiz eine Ausbreitung der Erregung über weite zentrale Gebiete zur Folge haben (Strychninkrampf).

Da im normalen Körper durch die angegebenen Faktoren der Ablauf der Erregungen auf ganz bestimmte, gesetzmäßig angeordnete Bahnen

geleitet wird, so ist damit die Grundlage für die einfachste wie für die kompliziertestе Koordination von Erregungsimpulsen gegeben, wie sie z. B. in den einfachsten Reflexen, in den komplizierteren Reflexen, in den verwickeltsten Assoziationen beim Denken usw. beobachtet wird.

Nach äußerlich anatomischen Gesichtspunkten pflegt man am gesamten Nervensystem verschiedene Teile zu unterscheiden, und zwar außer den peripherischen Teilen das Rückenmark, das Gehirn und das sympathische Nervensystem.

1. Die peripherischen Teile des Nervensystems.

Theoretische Vorbemerkungen. Die peripherischen Teile des Nervensystems bestehen aus den Nervenfasern und den Nervenendapparaten, d. h. denjenigen Differenzierungen, durch deren Vermittelung die Nervenenden mit ihren Erfolgsorganen in Beziehung treten.

Die Nervenfaser setzt sich gewöhnlich zusammen aus einem Bündel von Elementarfibrillen, die aus verschiedenen Ganglienzellen entsprungen sein können und in einer protoplasmatischen Grundmasse eingebettet liegen. Protoplasma und Elementarfibrillen bilden den „Achsenzylinder". Dieser ist umhüllt von einer Markscheide, die aber den Fasern des sympathischen Nervensystems fehlt. Mehrere oder viele Nervenfasern bilden einen Nervenstamm. Die Nervenfaser erhält beim normalen physiologischen Geschehen im intakten Organismus ihre Erregungsimpulse, die sie zu den Erfolgsorganen leitet, immer nur von ihren Ausgangspunkten her. Obwohl die Nervenfaser als lebendige Substanz an jedem Punkte ihres Verlaufs durch künstliche Reize erregbar und auch lähmbar ist, wird sie doch unter normalen Verhältnissen im intakten Körper kaum je in ihrem Verlauf gereizt. Obwohl die Nervenfaser ferner „doppelsinniges Leitungsvermögen" besitzt, d. h. obwohl sie eine Erregung sowohl nach der einen wie nach der anderen Richtung hin fortleiten kann, was aus dem Auftreten eines Aktionsstromes an beiden Enden einer Nervenfaser bei künstlicher Reizung der Mitte zu ersehen ist, leitet sie unter physiologischen Verhältnissen doch immer nur Erregungen in einer Richtung. Nach dieser physiologischen Leitungsrichtung unterscheidet man zentripetale (sensible) und zentrifugale (motorische, inhibitorische, sekretorische usw.) Fasern. Besondere „trophische" Nerven, wie man sie früher für die Ernährung der verschiedenen Organe annahm, existieren nicht. Trophische Funktion dagegen haben alle Nerven für die von ihnen innervierten Endorgane insofern, als sie deren spezifische Tätigkeit erregen und insofern, als jede Verminderung der Tätigkeit eines Organs, also auch Durchschneidung des dasselbe versorgenden Nerven „Inaktivitätsatrophie" des Organs bedingt.

Die Nervenendapparate sind vielfach sehr komplizierte Differenzierungen wie beim quergestreiften Muskel, wo sie am genauesten untersucht sind, vielfach aber einfachere, oft gar nicht weiter differenzierte Kontaktverbindungen mit den Zellen des betreffenden Erfolgsorgans. Solche Kontaktverbindungen scheinen auch in den zentralen Teilen des Nervensystems zwischen den Nervenenden des einen und dem Ganglienzellkörper oder seinen Dendriten eines anderen Neurons vorzukommen und werden hier als „Synapsen" bezeichnet. Physiologisch verhalten sich alle diese Nervenendapparate gänzlich anders als die Nervenfasern und ähneln in ihren Eigenschaften mehr den Ganglienzellen. Sie ermüden

leicht im Gegensatz zu den unermüdbaren Nervenfasern und sie werden leicht durch bestimmte Gifte gelähmt, die auf die Nervenfasern gar keinen Einfluß haben (z. B. die Nervenendapparate der quergestreiften Muskulatur durch Curare).

Erregung des Nerven durch mechanische Reize. Es wird ein Nervmuskelpräparat (Schenkelpräparat) vom Frosch hergestellt (p. 145) und mit dem Femur an einem Muskelhalter befestigt. Dann wird der Nerv an seinem Faden hochgehoben und nahe an der Anbindungsstelle mit einer Pinzette gequetscht. Die Muskeln, das Erfolgsorgan des motorischen Nerven, führen eine heftige Zuckung aus, ein Indikator dafür, daß der mechanische Reiz den Nerven erregt und daß der Nerv die Erregung fortgeleitet hat.

Erregung des Nerven durch thermische Reize. Dasselbe Präparat kann gleich für den folgenden Versuch benutzt werden. Ein Glasstab wird über der Flamme des Bunsenbrenners erwärmt und dann an eine intakte Nervenstelle gehalten. Die Muskeln des Schenkelpräparats geraten in kurze unregelmäßige Zuckungen. Die Wirkung der thermischen Reize beruht jedenfalls auf Austrocknung des Nerven.

Erregung des Nerven durch osmotische Reize. Ein Nervmuskelpräparat (Schenkelpräparat) wird an einem Muskelhalter befestigt und sein Nerv wird über einen in entsprechender Höhe horizontal an einem Stativ eingeklemmten Objektträger gelegt. Dann wird eine kleine Strecke des Nerven mit einer Messerspitze voll fein pulverisierten Kochsalzes bedeckt. Das Kochsalz entzieht dem Nerven in heftiger Weise Wasser und dementsprechend sieht man nach einiger Zeit andauernd unregelmäßige Zuckungen in den Muskeln des Schenkels auftreten. Der gleiche Erfolg wird häufig unbeabsichtigt herbeigeführt, wenn man versäumt, den Nerven eines Nervmuskelpräparates mit physiologischer Kochsalzlösung feucht zu halten, so daß er allmählich eintrocknet.

Erregung des Nerven durch elektrische Reizung siehe oben p. 144 und 149 über indirekte Muskelreizung.

Lähmung des Nerven durch Narkose. Aufhebung und Wiederherstellung der Leitfähigkeit. Es wird ein Nervmuskelpräparat (Schenkelpräparat) hergestellt und mit dem Nerven durch zwei kleine einander gegenüberstehende Tuben einer etwa 20 mm weiten Glasröhre gezogen, deren eines Ende mit einem durchbohrten und mit einer engen Glasröhre versehenen Gummistopfen verschlossen ist, während das andere Ende mit einem Gummigebläse verbunden wird (Fig. 98). Die Glasröhre ist auf einer Glasscheibe aufgekittet, die als Unterlage für den Schenkel dient und die in der Nähe des

Glasröhrentubus, durch den das Nervenende heraustritt, ein Platinelektrodenpaar trägt. Das durch die Röhre gezogene Nervenende wird mittels eines Fadens über die Elektroden gelegt und die Elektroden werden mit der sekundären Spirale eines Schlitteninduktoriums verbunden, in dessen primärem Kreise (obere Klemmschrauben) sich ein DANIELLsches Element und ein Quecksilberschlüssel befinden. Es wird nun zunächst die Reizschwelle des Nerven festgestellt, indem der Rollenabstand ermittelt wird, bei dem die Öffnungsinduktionsschläge eben wirksam sind. Dann wird dicht vor das hintere Ventil des Gebläses, durch das die Luft in das Gebläse eingesaugt wird, ein mit Äther getränkter Wattebausch gelegt und die mit Ätherdampf beladene Luft mittels des Gebläses etwa eine Minute lang durch die

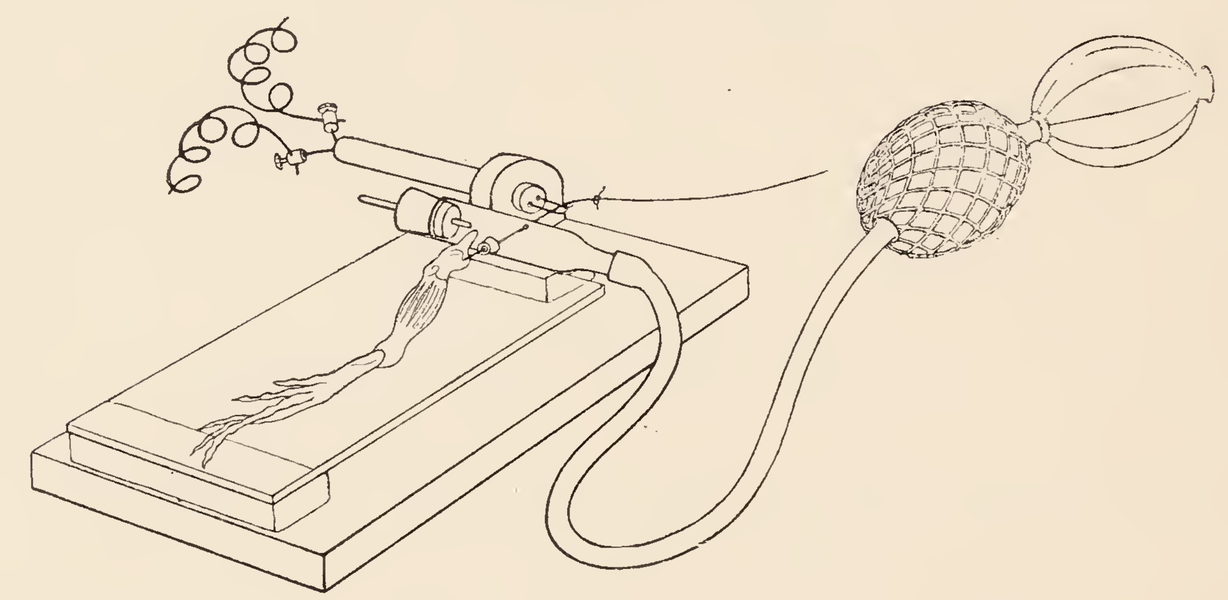


Fig. 98. Vorrichtung für die lokale Narkose des Nerven. Der Nerv des Nervmuskelpräparats ist durch die röhrenförmige Narkosekammer gezogen und mit seinem Ende über die Elektroden gelegt. Ein Gebläse treibt Ätherdämpfe resp. Luft durch die Narkosekammer.

Glaskammer geblasen. Von Zeit zu Zeit prüft man mit einzelnen Öffnungsinduktionsschlägen, ob die Muskeln des Schenkels noch eine Reaktion geben. Ist das nicht mehr der Fall, so schiebt man die sekundäre Rolle immer weiter an die primäre heran und überzeugt sich, daß die Leitfähigkeit des Nerven selbst für sehr starke Reize vollkommen erloschen ist. Die innerhalb der Glaskammer gelegene Strecke des Nerven ist für die von oben her kommenden Erregungen unwegsam geworden, der Muskel bleibt völlig in Ruhe. Nunmehr entfernt man den Wattebausch von der Öffnung des Gebläses und bläst einige Sekunden lang frische Luft hindurch, so daß der Ätherdampf aus der Glaskammer vertrieben wird, und prüft jetzt bei dem ursprünglichen Rollenabstand, ob die Muskeln wieder eine Reaktion geben. Man findet, daß nach kurzer Zeit die Nervenstrecke ihre Leitfähigkeit wieder gewonnen hat und daß die Erregbarkeit des Nerven im wesentlichen die gleiche ist, wie vor der Narkose.

Lähmung der Nervenendapparate durch Curare siehe oben p. 154.

2. Das Rückenmark.

Theoretische Vorbemerkungen. Das Rückenmark enthält einerseits die auf seinem Querschnitt peripherisch gelegenen Nervenfaserbahnen (weiße Substanz), welche es sowohl mit dem Gehirn als auch durch die vorderen und hinteren Wurzeln mit dem Sympathikus und den Organen des Körpers in Verbindung setzen und andererseits die Ganglienzellen (graue Substanz), welche die Umschaltung und Umformung der zum Rückenmark gelangenden Erregungen vermitteln. Auf dem Querschnitt zeigt das Rückenmark die bekannte schmetterlingsförmige Figur der grauen Substanz, an der man die Vorder- und die Hinterhörner zu unterscheiden pflegt. Die großen Ganglienzellen der Vorderhörner setzen sich durch die vorderen Wurzeln direkt in zentrifugale Nerven fort, während die kleinen Ganglienzellen der Hinterhörner nicht mit peripherischen Teilen in direkter Beziehung stehen, sondern Fasern entsenden, die teils an Zellen der Vorderhörner des Rückenmarkes, teils an Zellen des Gehirns herantreten. Die zum Rückenmark führenden zentripetalen Fasern dagegen haben ihre Ganglienzellkörper in den Spinalganglien, die seitlich außerhalb des Rückenmarkes zwischen den Wirbeln gelegen sind. So führen nach dem sogenannten BELLschen Gesetz, das von JOHANNES MÜLLER zuerst experimentell bewiesen wurde, die vorderen Wurzeln zentrifugale, die hinteren Wurzeln zentripetale Fasern. Die Leitungsbahnen, welche das Rückenmark mit dem Gehirn und die verschiedenen Rückenmarksniveaus untereinander verbinden, verlaufen sämtlich in der weißen Substanz und zwar so, daß im großen und ganzen die Vorderstränge, vom Gehirn aus gerechnet, absteigende (zentrifugale, motorische), die Hinterstränge aufsteigende (zentripetale, sensible), die Seitenstränge gemischte Bahnen enthalten. Durchschneidung der vorderen Rückenmarkswurzeln macht daher motorische Lähmungen, Durchschneidung der hinteren Wurzeln sensible Lähmungen. Soweit das Rückenmark nicht Durchgangsstation für Erregungen ist, die vom Gehirn kommen, vermittelt es durch seine eigenen Ganglienzellen nur Erregungen von einfachster Koordination. Es ist das Zentralorgan für die einfachen Reflexe. Unter „Reflex" pflegt man eine durch einen Reiz hervorgerufene, mit maschinenmäßiger Sicherheit und unwillkürlich verlaufende Übertragung einer Erregung von einer zentripetalen auf eine zentrifugale Bahn zu verstehen. Die einfachsten bekannten Reflexe, die durch das Rückenmark gehen, haben einen aus drei Neuronen bestehenden „Reflexbogen" (Fig. 99). Das eine Neuron hat seinen Ganglienzellkörper in einem Spinalganglion und besitzt zwei Nervenfortsätze, von denen der eine von der Peripherie kommt, während der andere durch die hintere Wurzel in das Rückenmark eintritt und sich hier in der weißen Substanz der Hinterstränge in einen auf- und einen absteigenden Ast teilt, von denen Kollateralen in die graue Substanz zu den kleinen sensiblen Ganglienzellen der Hinterhörner gehen. Diese Zellen entsenden ihren Achsenzylinderfortsatz zu den großen Ganglienzellen der Vorderhörner, die mit den von ihnen ausgehenden zentrifugalen Fasern das dritte Neuron des Reflexbogens bilden. Ob Reflexbögen im Rückenmark existieren, die zwischen Spinalganglienneuron und motorischem Vorderhornneuron kein drittes Neuron enthalten und also bloß aus zwei Neuronen bestehen, wie man früher allgemein annahm, ist mindestens zweifelhaft (Fig. 100). Selbst-

verständlich sind auch am einfachsten Reflexvorgang immer eine große Anzahl von Neuronen der gleichen Art beteiligt. Als Beispiele für einfachste Reflexvorgänge beim Frosch können dienen: 1. Der Beinanziehreflex, der darin besteht, daß der dekapitierte Frosch, wenn er

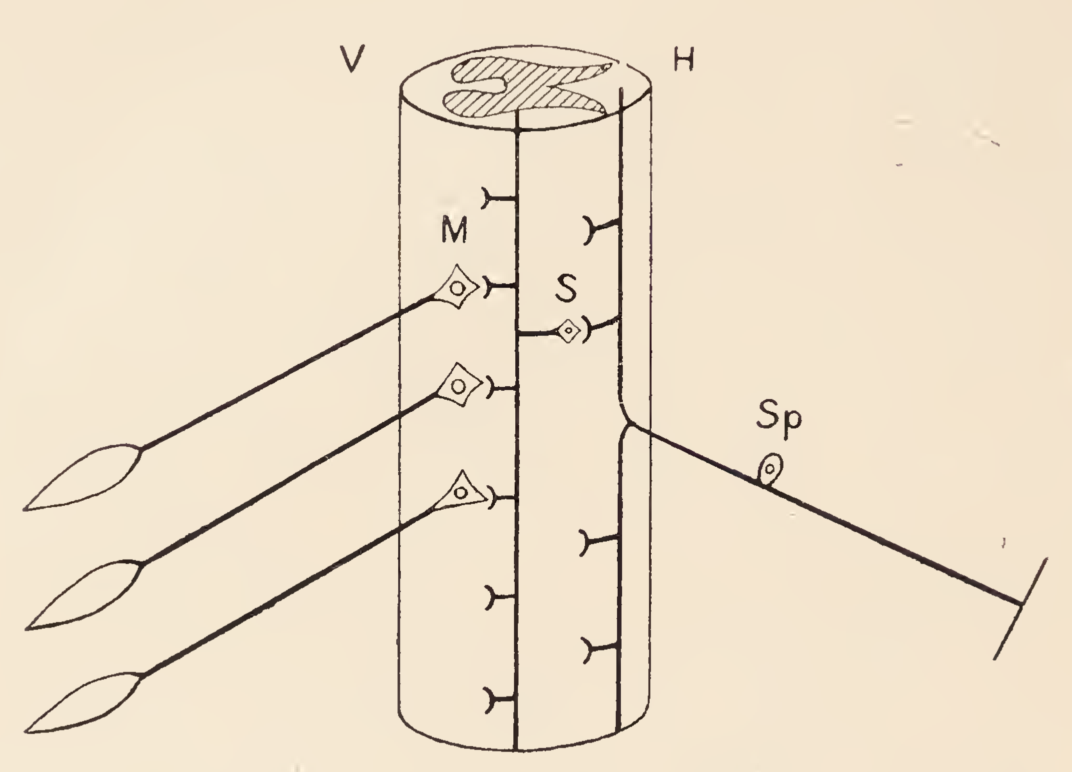


Fig. 99. Schema eines Reflexbogens mit drei Zellstationen. *Sp* Spinalganglienzelle, *S* sensible Ganglienzelle der Hinterhörner, *M* motorische Ganglienzelle der Vorderhörner, *V* vorn, *H* hinten.

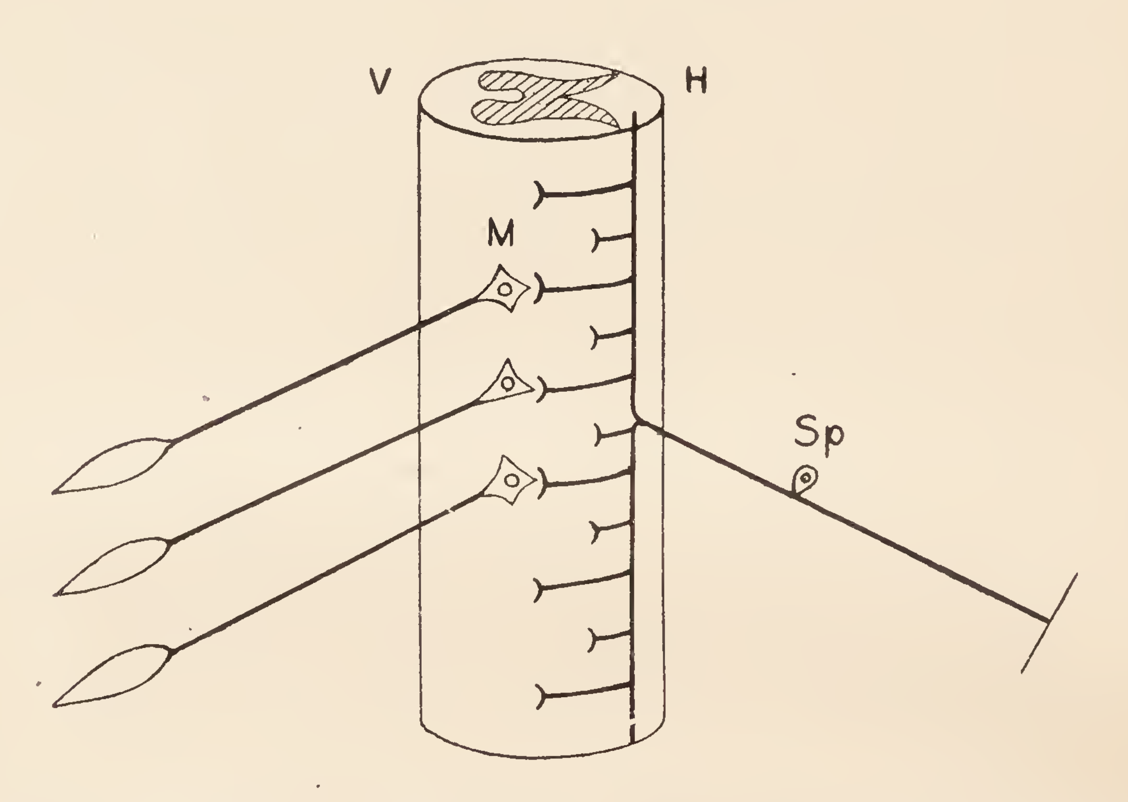


Fig. 100. Älteres Schema des einfachsten Reflexbogens im Rückenmark. *Sp* Spinalganglienzelle, *M* motorische Vorderhornzelle, *V* vordere, *H* hintere Seite des Rückenmarks. Es ist sehr zweifelhaft, ob ein solcher Reflexbogen aus nur zwei Neuronen überhaupt irgendwo im Rückenmark vorkommt.

senkrecht aufgehängt ist und seine Hinterextremitäten herabhängen läßt, bei mechanischer, chemischer, elektrischer Reizung einer Zehe die betreffende Extremität anzieht; 2. der Wischreflex, der darin besteht, daß der Frosch bei lokaler Reizung der Haut in der Lenden- oder Rückengegend eine Wischbewegung mit der Hinterextremität der gereizten Seite ausführt. Beim Menschen sind einfache Rückenmarksreflexe: die Reflexe

des Urogenitalsystems (Erektion, Ejakulation, Blasenverschluß), die Schweißsekretion, die Sehnenreflexe (Kniephänomen) usw. Beispiele für komplizierte Rückenmarksreflexe liefern die antagonistischen reziproken Reflexe (Sherrington), die darin bestehen, daß bei Kontraktion eines Muskels gleichzeitig eine Hemmung seines Antagonisten eintritt, und besonders die gekreuzten Reflexe, bei denen die Erregung nicht bloß auf eine gereizte Körperseite beschränkt bleibt, wie bei den einfachsten Reflexen, sondern auch auf die andere Seite übergreift und hier wiederum Erregungen oder Hemmungen hervorruft (z. B. Gehbewegungen bei Tieren). Der Ablauf sämtlicher Reflexe ist in seiner maschinenmäßigen Regelmäßigkeit gebunden an einen ganz bestimmten Erregbarkeitsgrad der Ganglienzellen. Wird die Erregbarkeit herabgesetzt, z. B. durch Arbeitslähmung (Ermüdung und Erschöpfung), so werden die Reflexe unsicher oder bleiben ganz aus. Es tritt Reflexlähmung ein. Wird die Erregbarkeit bestimmter Elemente erhöht, so kommt es zu Reflexkrämpfen. Solche Reflexkrämpfe können je nach dem Sitz der Erregbarkeitssteigerung tetanischer oder klonischer Natur sein. So steigert z. B. Strychninvergiftung die Erregbarkeit der sensiblen Elemente in den Hinterhörnern so sehr, daß der leiseste Reiz schon eine heftige und zwar rhythmische Entladung hervorruft. Infolgedessen entsteht bei dem leisesten Anlaß, z. B. beim bloßen Anblasen des Tieres, ein tetanischer Krampf, d. h. eine andauernde Kontraktion aller Körpermuskeln, die erst aufhört, wenn durch Ermüdung und Erschöpfung eine gewisse Unerregbarkeit erreicht ist. Wird dagegen die Erregbarkeit der motorischen Vorderhornzellen gesteigert, wie es bei Karbolvergiftung der Fall ist (Baglioni), so treten klonische Krämpfe, d. h. kurze unregelmäßige Einzelzuckungen in den verschiedenen Körperteilen auf, weil die fortwährend im Körper entstehenden schwachen Reizimpulse, die sonst nicht wirksam sind, jetzt immer zu Entladungen der motorischen Vorderhornzellen in den verschiedenen Rückenmarksniveaus führen. Schließlich hat man früher auch vielfach geglaubt, dem Rückenmark die Vermittelung sensorischer Funktionen, d. h. bewußter Empfindung, Überlegung und Willenstätigkeit zuschreiben zu müssen. Dazu verleiteten die Bewegungen, die man bei dekapitierten Tieren beobachtet. So sieht man z. B., daß ein dekapitierter Frosch, dem man auf der einen Seite den Oberschenkel abgeschnitten hat, bei Reizung der Rückenhaut dieser Körperseite zuerst mit dem Schenkelstumpf einige vergebliche Wischversuche macht, bisweilen dann aber eine kräftige Wischbewegung mit dem intakten Bein der anderen Seite ausführt. Indessen die Deutung dieses Verhaltens als Ausdruck einer bewußten Überlegung ist durch andere Erfahrungen hinfällig geworden, und es hat sich herausgestellt, daß in diesen und ähnlichen Fällen lediglich kompliziertere Reflexe vorliegen. Im angeführten Fall handelt es sich nur um die allgemeine Tatsache, daß bei stärkerer Reizung die Erregung nicht auf die gereizte Körperseite beschränkt bleibt, sondern auch auf die andere Körperseite übergreift.

Beinanziehreflex beim Frosch. Ein Frosch wird dekaptiert. Zu diesem Zwecke faßt man ihn wie gewöhnlich mit der linken Hand fest in die Lendengegend und führt die eine Branche einer kräftigen Operationsschere von der Seite her quer durch die Mundöffnung, so

daß die andere Branche der Schere über dem Kopf gelegen ist. Indem man nun beide Branchen soweit als möglich nach hinten drückt und namentlich die obere bis über den Hals zurückbiegt, schneidet man mit einem schnellen Schnitt den Kopf ab. Führt man den Schnitt nicht weit genug nach hinten aus, so fällt er vor die Medulla oblongata und man gewinnt kein reines Rückenmarksreflexpräparat. Am abgeschnittenen Kopf wird das Gehirn mit einer dicken Nadel ausgebohrt. Der dekaptierte Frosch wird nunmehr mit seinem Unterkiefer an einem einfachen Muskelhalter so befestigt, daß er senkrecht nach unten hängt. In der Regel ist zunächst unmittelbar nach der Dekapitation die Reflexerregbarkeit stark herabgesetzt oder ganz erloschen, wie man beim Kneifen der Zehen mit einer Pinzette bemerkt. Das beruht auf der starken Überreizung des Rückenmarks durch die Durchschneidung (Schock). Nach einigen Minuten ist die Lähmung vorüber und die Reflexerregbarkeit wieder zurückgekehrt. Kneift man jetzt die Zehenspitze einer Hinterextremität mit einer Pinzette, so wird die betreffende Extremität prompt in die Höhe gezogen und an den Körper angelegt (Fig. 101). Je nach der Stärke des Reizes und je nach der Temperatur wird sie entweder kürzere oder längere Zeit an den Körper angezogen gehalten oder sofort wieder herabgelassen. Wird das gereizte Bein längere Zeit angezogen gehalten, so kann man durch Kneifen der Zehenspitze des anderen Beines ein Anziehen dieses Beines und eine Hemmung des gekreuzten, vorher angezogenen Beines erzielen. Es ist das ein Beispiel eines gekreuzten Reflexes und gleichzeitig eines Hemmungsreflexes. Durch alternierendes Kneifen des jedesmal herabhängenden Beines kann man in diesem Falle fortwährend ein alternierendes Anziehen des gereizten und ein Herablassen des gekreuzten Beines hervorrufen. Statt des mechanischen Reizes kann man sich auch des elektrischen



Fig. 101. Beinanziehreflex beim Frosch. Reizung der Zehen der rechten Hinterextremität ruft Anziehen der letzteren hervor.

oder des chemischen Reizes bedienen, um den Beinanziehreflex auszulösen. Zur elektrischen Reizung benutzt man einen faradischen Strom, indem man die Platinelektroden eines Schlitteninduktoriums mit der Hand an die Zehen des Frosches anlegt. Der Erfolg ist der gleiche wie bei der mechanischen Reizung. Für die chemische Reizung verwendet man am einfachsten eine verdünnte Essigsäurelösung, deren Konzentration man empirisch ausgeprobt hat. Man hebt ein kleines Gefäß mit dieser Lösung unter dem einen Bein des Frosches in die Höhe, so daß die Zehenspitze in die Lösung eintaucht. Je nach der Konzentration der Lösung zieht der Frosch das Bein sofort (starke Lösung) oder erst nach einigen Sekunden (schwache Lösung) aus der Lösung heraus in die Höhe.

Der Wischreflex beim Frosch. Die chemische Reizmethode wird auch am zweckmäßigsten für die Auslösung des Wischreflexes benutzt. Der Versuch kann an demselben Präparat ausgeführt werden wie der vorige. Man betupft die Lendenhaut oder die Rückenhaut der einen Körperseite vorsichtig mittels einer feinen Pinselspitze ganz lokal mit einer nicht zu starken Essigsäurelösung. Alsbald wird die Hinterextremität der gereizten Seite hochgehoben und es wird mit den Zehen eine in der Regel mehrmals wiederholte Wischbewegung ausgeführt. Ist die Essigsäurelösung stark, so wird eine Reihe sehr energischer Wischbewegungen ausgeführt, an denen auch die gekreuzte Extremität teilnimmt. Man kann nun diesen Versuch auch in der Form ausführen, die früher einigen Forschern zur Annahme einer bewußten Überlegung seitens des Rückenmarkspräparates Anlaß gegeben hat. Zu diesem Zwecke hängt man ein frisches Präparat der angegebenen Art am Stativ auf und betupft zunächst mit der Pinselspitze vorsichtig die Rückenhaut der einen Seite mit einer mäßig starken Essigsäurelösung. Hat man sich überzeugt, daß der Frosch den Wischreflex einseitig prompt ausführt, so spült man sofort die Essigsäure sorgfältig wieder mit Wasser von der Haut ab und schneidet mit einem glatten Scherenschnitt den Oberschenkel der betreffenden Seite quer durch, so daß nur noch ein kurzer Stumpf von ihm stehen bleibt. Man wartet eine Minute, dann wiederholt man den Versuch genau in derselben Weise. Man wird jetzt beobachten, daß der Frosch zunächst wieder eine oder einige nunmehr vergebliche Wischbewegungen mit dem Schenkelstumpf der gereizten Körperseite ausführt und schließlich die Extremität der gekreuzten Seite zu einer Wischbewegung benutzt (Fig. 102).

Tetanische Krämpfe beim Frosch nach Strychninvergiftung. Einer kräftigen Rana temporaria werden mittels einer Tropfpipette in

der oben (p. 94) angegebenen Weise einige Tropfen einer 0,1 proz. Strychninlösung (Strychninum nitricum) unter die Rückenhaut gebracht. Darauf wird das Tier in einem feuchten Glasgefäß aufbewahrt und beobachtet. Nach wenigen Minuten bereits erscheint die Reflex-

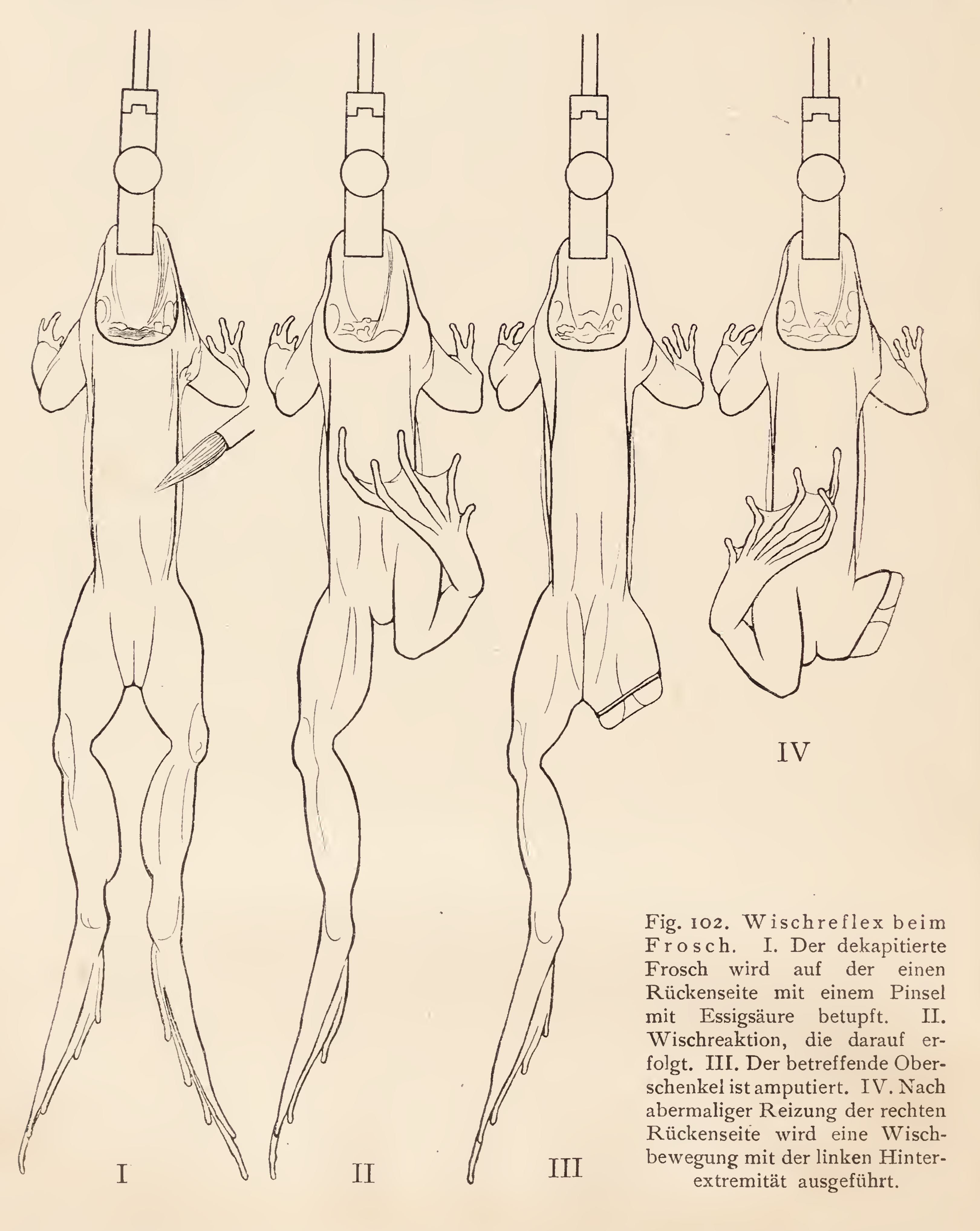


Fig. 102. Wischreflex beim Frosch. I. Der dekapitierte Frosch wird auf der einen Rückenseite mit einem Pinsel mit Essigsäure betupft. II. Wischreaktion, die darauf erfolgt. III. Der betreffende Oberschenkel ist amputiert. IV. Nach abermaliger Reizung der rechten Rückenseite wird eine Wischbewegung mit der linken Hinterextremität ausgeführt.

erregbarkeit gesteigert. Schon bei einer Erschütterung des Gefäßes zuckt das Tier am ganzen Körper zusammen. Noch etwas später spreitzt es bei jeder Erschütterung die Extremitäten zitternd vom Leibe ab und plötzlich verfällt es bei einer starken Erschütterung in

heftigen Streckkrampf. Die Hinterextremitäten sind steif und gerade ausgestreckt, die Vorderextremitäten mit größter Gewalt gegen die Brust gepreßt. Alle Skelettmuskeln des Körpers sind auf das Äußerste kontrahiert. Das Tier ist für einige Sekunden hart und starr, fast wie ein Stück Holz. Allmählich aber tritt infolge der äußersten Anstrengung eine Arbeitslähmung ein. Der Starrkrampf beginnt sich in einzelne Zuckungen mit kurzen Pausen aufzulösen und schließlich sind die Muskeln erschlafft. Aber sofort tritt ein neuer Krampfanfall auf, der jedoch viel kürzer ist als der erste und schneller in einzelne Zuckungen übergeht, bis die Muskeln wieder erschlafft sind. Dann folgt mit abnehmender Stärke und Dauer ein dritter, vierter, fünfter u. s. f. In den Pausen zwischen zwei Anfällen löst anfangs die leiseste Berührung, ja bloßes Anblasen sofort einen neuen Anfall aus. So ungeheuer ist die Reflexerregbarkeit gesteigert. In einem weiter vorgeschrittenen Stadium kann man sehr schön die typische Entwicklung eines Refraktärstadiums beobachten und studieren. Reizt man den Frosch durch Berührung mit einem Glasstabe rhythmisch in kurzen Intervallen hintereinander, so bemerkt man in einem gewissen Stadium der Arbeitslähmung, daß er nur auf den ersten, vielleicht noch auf den zweiten und dritten Reiz, aber mit abnehmender Stärke, reagiert. Dann bleiben alle weiteren Reize völlig wirkungslos, der Frosch verharrt in totaler Erschlaffung. Macht man aber eine kurze Pause in der Reizung, so ist der erste, vielleicht auch der zweite Reiz wieder wirksam, bis der Frosch wiederum vollkommen refraktär geworden ist u. s. f. Allmählich werden die Refraktärstadien nach jedem Reize immer ausgedehnter und man muß immer länger warten, bis wieder ein Reiz eine einzelne kurze Zuckung hervorzurufen vermag. Läßt man längere Pausen zwischen den Reizungen eintreten und gönnt man dem Frosch eine längere Erholung, so sind bei erneutem Beginn der Reizungen die Erfolge auch wieder stärker. Dabei ist es unwesentlich, ob man mit schwachen oder starken Reizen reizt. Die strychninvergiftete Hinterhornzelle hat „isobolischen“ Charakter und folgt dem „Alles- oder Nichts-Gesetz“, im Gegensatz zur normalen Ganglienzelle, die „heterobolischen“ Charakter besitzt. Der strychninvergiftete Frosch kann am Leben erhalten werden. Das Strychnin wird zwar außerordentlich langsam, aber im Laufe der Zeit doch vollständig vom Körper wieder ausgeschieden. Wenn man das Tier in einer flachen Schale mit wenig Wasser hält, öfters das Wasser wechselt und gelegentlich die Blase ausdrückt, kann man es je nach der Größe der Strychnindosis, die es erhalten hat, nach einigen Tagen bis einigen Wochen wieder in seinen gewöhnlichen Zustand zurückführen. Die enorm gesteigerte Reflexerregbarkeit verliert sich ganz allmählich während dieser Zeit.

Klonische Krämpfe beim Frosch nach Phenolvergiftung. Einem Frosch werden mittels einer Tropfpipette mehrere Tropfen einer 1—2 proz. Phenollösung unter die Rückenhaut gebracht. Dann wird der Frosch etwa 15—20 Minuten sich selbst überlassen. Nach dieser Zeit bemerkt man, wie an dem Frosch fortwährend bald in diesem, bald in jenem Körperteil, bald im ganzen Körper kurze unregelmäßige Zuckungen auftreten, die bald häufiger, bald in längeren Pausen aufeinander folgen. Jeder mechanische Reiz, wenn er nicht zu schwach ist, also z. B. jede stärkere Berührung oder jedes Anstoßen ruft einzelne oder unregelmäßige Reihen von solchen klonischen Zuckungen hervor. Dabei bleibt der Frosch in seiner gewöhnlichen Hockstellung sitzen, im Gegensatz zum Strychninfrosch, der in gestreckter Stellung liegt und nicht imstande ist, seine Hinterextremitäten an den Körper anzuziehen. War die Phenoldosis nicht zu groß, so ist nach einigen Stunden ihre Wirkung vollständig vorüber. Diese charakteristische Wirkungsweise des Phenols beruht auf dem Benzolkern, denn sie ist, wie BAGLIONI gezeigt hat, eine allgemeine Eigenschaft verschiedener Benzolverbindungen.

3. Das Gehirn.

Theoretische Vorbemerkungen. Das Gehirn bildet den vordersten ganz besonders stark differenzierten Abschnitt des Medullarrohres. Es gliedert sich nach den fünf primären Gehirnblasen, die bei niederen Wirbeltieren (z. B. Frosch) noch deutlich voneinander abgegliederte Teile bilden, in Vorderhirn, Zwischenhirn, Mittelhirn, Hinterhirn und Nachhirn.

Das Nachhirn umfaßt beim Menschen die Medulla oblongata mit den Pedunculi cerebelli. In der Medulla oblongata liegt eine Reihe von zentralen Kernen für wichtige Körperfunktionen: 1. Das übergeordnete motorische Sammelzentrum (unpassend als „Krampfzentrum“ bezeichnet), von dem aus alle Skelettmuskeln des Körpers innerviert werden können. Wie alle Zentra der Medulla oblongata, wird es erregt durch O_2-Mangel im Blut und es entstehen die TENNER-KUSSMAULschen Erstickungskrämpfe. Einen besonders spezialisierten Teil des motorischen Sammelzentrums bildet 2. das Atemzentrum (vgl. oben p. 69). Speziell differenzierte Teile des großen motorischen Zentrums für einzelne besondere Reflexe bilden: 3. das Zentrum für den Cornealreflex; 4. für den Schluckreflex; 5. für die Brechbewegungen; 6. für die Pupillenerweiterung (Zentrum der Pupillenverengerung in den Vierhügeln). Außerdem liegen in der Medulla oblongata 7. das Zentrum für die Speichelsekretion; 8. das übergeordnete Vasomotorenzentrum (siehe oben p. 112) und 9. das Zentrum für den Herzvagus (siehe oben p. 94).

Das Hinterhirn umfaßt die Brücke und das Kleinhirn. Das Kleinhirn steht mit einer großen Menge von zentripetalen und zentrifugalen Bahnen in Verbindung und dient der feinen Koordination der Bewegungsinnervation. Die kompliziertesten Reflexmechanismen, vor allen Dingen die Erhaltung des sogen. Körpergleichgewichts, d. h. der Körper-

lage, haben ihr Zentrum im Kleinhirn. Infolgedessen treten bei Verletzungen des Kleinhirns Bewegungsstörungen, bei einseitiger Verletzung Zwangsbewegungen und Zwangsstellungen ein. Bei niederen Wirbeltieren, bei denen das Kleinhirn nur wenig entwickelt ist, haben andere Hirnteile (z. B. beim Frosch die Basis des Mittelhirns und der vordere Teil der Medulla oblongata) die Funktionen des Kleinhirns.

Das Mittelhirn umfaßt die Pedunculi cerebri und die Vierhügel. In den Vierhügeln liegt bei Säugetieren das Zentrum der Pupillenverengerung, bei Amphibien und Vögeln die erste Station der Optikusbahn, daher Erblindung bei Zerstörung der Vierhügel. Beim Säugetier dagegen liegt die Endausbreitung der primären Optikusbahn im Zwischenhirn.

Das Zwischenhirn umfaßt im wesentlichen den Thalamus opticus mit Corpus geniculatum laterale und mediale sowie die Glandula pinealis. Im Thalamus opticus (Sehhügel) enden beim Menschen eine Menge von sensiblen Fasern (sekundäre sensible Bahn vom Rückenmark her, primäre Akustikusbahn, primäre Optikusbahn, ferner Fasern vom Kleinhirn und von der Großhirnrinde her). Vom Thalamus opticus aus entspringen schließlich auch wieder Bahnen zum Großhirn, zu den Vierhügeln, zur Medulla oblongata und zum Rückenmark.

Das Vorderhirn endlich bildet mit seinen beiden Großhirnhemisphären denjenigen Gehirnteil, in dem die physiologischen Bedingungen für die Bewußtseinsvorgänge gelegen sind. Auf der Großhirnrinde sind eine Reihe von Gebieten lokalisiert, an die das gesamte geistige Geschehen gebunden ist. Man unterscheidet die motorischen, die sensorischen und die Assoziationszentra der Großhirnrinde. Die motorische Sphäre liegt hauptsächlich zu beiden Seiten der Zentralfurche in der vorderen und hinteren Zentralwindung und vermittelt von ihren verschiedenen scharf lokalisierten Punkten aus die willkürlichen Bewegungen aller einzelnen Körperteile. Die sensorischen Sphären umfassen die Sehsphäre im Okzipitallappen, die Hörsphäre im Temporallappen, die Hautsinnessphäre (Körperfühlsphäre) im gesamten Gebiete der motorischen Sphäre, die Geruchssphäre im Gyrus Hippocampi und die Geschmackssphäre, deren Lage physiologisch noch nicht näher ermittelt werden konnte. Die sensorischen Sphären dienen der Bildung von Sinnesempfindungen. Während die motorischen und die sensorischen Sphären sowohl mit den radiären Nervenfasern des Stabkranzes als auch mit den tangentialen, die einzelnen Rindengebiete untereinander verbindenden Assoziationsfasern verknüpft sind, haben die Assoziationssphären, welche die übrigen Rindengebiete bilden, wenig oder gar keine Stabkranzfasern, dagegen sehr reichliche Assoziationsfasern. Die Fasern der motorischen und sensorischen Sphären haben ihre Markhüllen schon bei der Geburt, die Fasern der Assoziationsgebiete umkleiden sich erst nach der Geburt mit Markhüllen (Flechsig). Die Assoziationsgebiete dienen der Bildung und Verknüpfung von Vorstellungen zu Gedanken und Gedankenreihen. Das Schema für den Weg der Erregung bei einem motorischen Willensakt ist folgendes. Die Erregung kommt von Zellen des Assoziationsgebietes, mit dem die entsprechende Bewegungsvorstellung verknüpft ist. Von hier geht sie durch die Nervenfasern dieser Zellen zu Pyramidenzellen der motorischen Sphäre, auf deren Nervenfasern sie weiter durch die Capsula interna, den Pedunculus cerebri, die Brücke und die Pyramide

der Medulla oblongata verläuft. Hier erfährt der eine Teil der Fasern eine Kreuzung und geht nach der entgegengesetzten Seite des Rückenmarks (Pyramidenseitenstrangbahn). Der andere Teil (Pyramidenvorderstrangbahn) geht ungekreuzt zum Rückenmark und erfährt erst hier, wenigstens zum großen Teil, eine Kreuzung in verschiedenen Niveaus durch die vordere Kommissur. Im Rückenmark geht die Erregung auf motorische Vorderhornzellen über, auf deren Nervenfasern sie durch die vorderen Wurzeln austritt und zu einem Muskel gelangt. Die motorische Bahn des Vorderhornneurons kann aber bekanntlich auch von anderen Seiten her Erregungen empfangen, z. B. von einer sensiblen Bahn her im einfachen Reflexbogen des Rückenmarks (vgl. oben p. 197). Sie bildet also eine „gemeinsame Strecke“ für Impulse von verschiedenen Seiten. Als Beispiel für den Lauf der Erregung bei einer einfachen Empfindung kann die Entstehung einer Gesichtsempfindung dienen. Die Erregung kommt von einem Sinneselement der Retina zu einer Ganglienzelle der Retina, die ihre Nervenfaser durch den Optikus gekreuzt oder ungekreuzt zum Zwischenhirn schickt. Hier setzt sich die Endausbreitung der Optikusfaser an den Ganglienzellkörper eines zweiten Neurons an, auf dessen Nervenfaser (GRATIOLETsche Sehstrahlung) sie durch die Capsula interna nach dem Hinterhauptslappen verläuft, wo sie in einer Ganglienzelle der Sehsphäre endet. Als einfaches Beispiel für einen Assoziationsvorgang endlich kann die Abwehrbewegung auf einen Gesichtseindruck dienen. Die Erregung geht vom Auge zunächst den eben genannten Weg zur Sehsphäre. Von einer Ganglienzelle der Sehsphäre geht die Erregung durch deren Nervenfaser zu einer Assoziationszelle im Assoziationsgebiet der Bewegungsvorstellungen, durch deren Nervenfaser sie, sei es direkt, sei es auf weiteren assoziativen Umwegen zu einer Pyramidenzelle der motorischen Sphäre geleitet wird, von wo sie dann in der oben angegebenen Weise zum Muskel verläuft. Das sind selbstverständlich nur Schemata und es ist natürlich immer zu berücksichtigen, daß selbst am einfachsten geistigen Vorgang in Wirklichkeit immer ganze Gruppen von Zellen beteiligt sind. Totalexstirpation des Großhirns ist mit völligem Ausfall der Geistestätigkeit verbunden. Bei niederen Wirbeltieren sind die spontanen Bewegungen nach Großhirnexstirpation stark reduziert, beim Säugetier (GOLTZ's großhirnloser Hund) nicht in demselben Maße. Zerstörungen lokaler Natur auf der Großhirnrinde (Verletzungen, Krankheitsprozesse) führen zum Ausfall bestimmter geistiger Tätigkeit, je nach ihrem Sitz.

Großhirnexstirpation beim Frosch. Ein Frosch (am besten Rana temporaria wegen der dünneren Schädelknochen) wird in ein Handtuch so eingewickelt, daß nur sein Kopf frei bleibt und daß er sich mit seinen Extremitäten nicht bewegen kann. Während man das Tier mit dem Tuch in der linken Hand festhält, macht man mit der rechten mittels einer kleinen, aber festen, etwas abwärts gebogenen Schere hinter den Nasenlöchern einen queren Hautschnitt von 4—5 mm über den Kopf und schiebt dann von den Enden dieses Hautschnittes her die Spitze der einen Scherenbranche weit nach hinten zu unter die Haut. Indem man sich dabei soweit als möglich lateralwärts hält, führt man erst auf der einen, dann auf der anderen Seite des Kopfes

je einen seitlichen Hautschnitt von etwa 15—20 mm aus, so daß über dem Kopf ein trapezförmiger Lappen entsteht, den man von der Nase her nach hinten zu hinüberklappt, aber nicht abschneidet, sondern in dem Tuche mit festhält. Nunmehr liegt das Schädeldach deutlich sichtbar zutage. Man erkennt an ihm in der Regel schon von außen her die Konturen des Großhirns und Mittelhirns. Es folgt jetzt die Öffnung der Schädelkapsel. Wiederum wird mit der kleinen kräftigen Schere vorn, wo man das Ende des Großhirns erkennt, ein querer Schnitt gemacht, der das Schädeldach öffnet. Es quillt dabei gewöhnlich etwas Liquor cerebrospinalis aus der Schnittstelle hervor. Wiederum schiebt man in der gleichen Weise wie vorher beim Hautschnitt die eine Branche der Schere, die nicht zu dick sein darf,

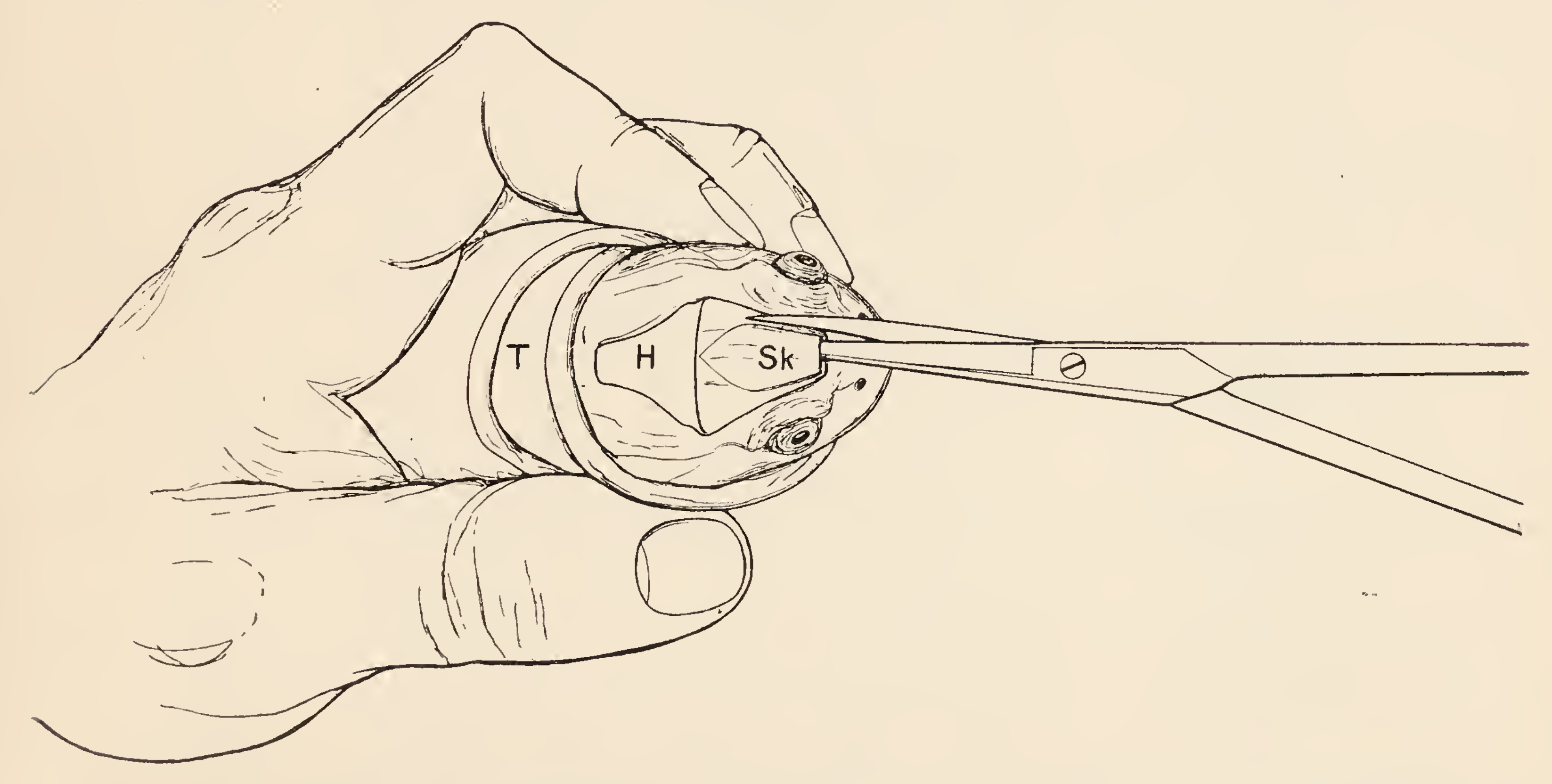


Fig. 103. Großhirnexstirpation beim Frosch. *T* Tuch zum Festhalten des Tieres, *H* Hautlappen zurückgeklappt, *Sk* Schädelkapsel.

ganz seitwärts zuerst an einem Ende, dann am anderen Ende des queren Schnittes unter das Schädeldach (vgl. Fig. 103), wobei man die aufwärts gebogene Spitze der Scherenbranche stets nach oben dicht an die Innenseite des Schädeldaches und möglichst weit nach der Seite hin drückt. In dieser Lage der Schere führt man jederseits einen etwa 10—12 mm langen Knochenschnitt aus (siehe Fig. 103), so daß das Schädeldach jetzt, ähnlich wie vorher die Haut, von vorn nach hinten geklappt werden kann. Dann schneidet man durch einen queren Schnitt an der Basis diesen Knochenlappen ab. Die dabei aus den beiden großen seitlichen Gefäßen der Schädeldecke entstehende Blutung wird mit einem trockenen Wattebausch, der stets zur Hand liegen muß, so lange abgetupft und tamponiert, bis sie steht. Ist der Ausschnitt aus dem Schädeldach groß genug ausgeführt worden, und hat man sich bei der Eröffnung der Schädel-

kapsel mit der Scherenspitze an den Knochen gehalten, so liegt jetzt das Gehirn unverletzt bis zur Medulla oblongata hin sichtbar frei (Fig. 104). Man sieht die langen Großhirnhemisphären (*1*) mit ihrem deutlich abgesetzten Vorderende, dem großen Lobus olfactorius, man sieht die mit grauschwarzem Pigment bedeckten breiten Halbkugeln des Mittelhirns (*3*) und man sieht die Medulla oblongata mit ihrer Rautengrube (*5*). Zwischen Großhirn und Mittelhirn bemerkt man erst bei genauerem Zusehen das kleine Gebiet des Zwischenhirns (*2*) und ebenso findet man auch das Kleinhirn nur als sehr schmale Leiste den vorderen Begrenzungsrand der Rautengrube bildend (*4*). Ist die Öffnung im Schädel nicht groß genug geworden, so kann man, nachdem die Schädelkapsel einmal eröffnet ist, leicht den Ausschnitt mit der Schere seitwärts und nach hinten erweitern. Sobald alle Blutung beseitigt ist und nachdem man sich über Gestalt und Lage der einzelnen Gehirnteile orientiert hat, geht man zur Exstirpation des Großhirns über. Zu diesem Zweck braucht man ein Spatel von der Form Fig. 105, das aber nicht stumpf, sondern an seinem vorderen Drittel haarscharf geschliffen ist. Indem man mit der linken Hand den Kopf des Frosches mit dem Kehlboden flach und gerade auf den Rand der Tischplatte legt, drückt man mit der Rechten unmittelbar hinter dem hinteren Rande der Großhirnhemisphären die vordere Spatelschneide g e n a u s e n k r e c h t (!) auf die Schädelbasis von oben nach unten herab und teilt so durch einen g e n a u s y m m e t r i s c h (!) geführten Schnitt das Großhirn vom übrigen Hirnstamm ab. Um auch die Seiten dabei vollständig und scharf mit abzutrennen, ist es nötig, daß man bei genauer Senkrechthaltung des Spatelmessers eine mehrmalige pendelartige Bewegung in der Querrichtung ausführt, wobei man die Spatelschneide nach beiden Seiten hin fest

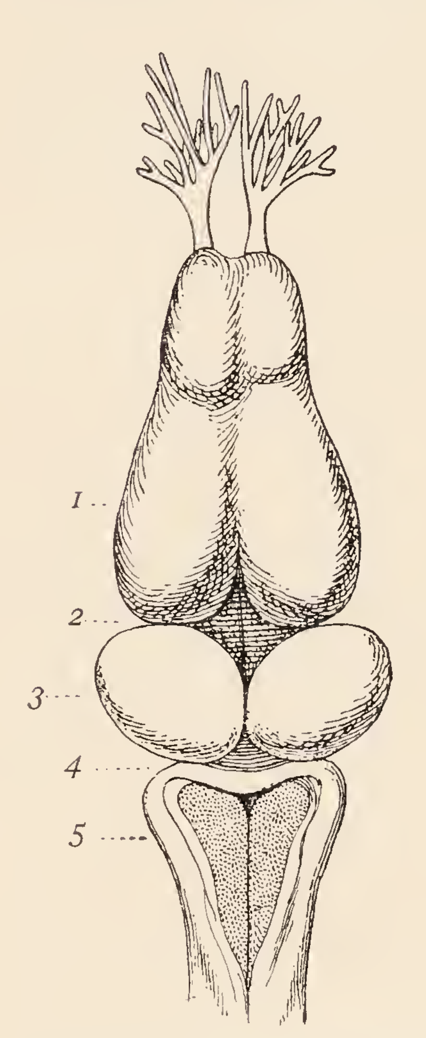


Fig. 104. Froschhirn. *1* Großhirn, *2* Zwischenhirn, *3* Mittelhirn, *4* Kleinhirn, *5* Medulla oblongata. Vergrößert.

Fig. 105. Spatelmesser für die Großhirnexstirpation beim Frosch.

gegen den Knochen drückt. Ist das Großhirn vollständig abgetrennt, so hebt man es mit dem Spatel nach vorn aus der Schädelhöhle heraus und schließt die Schädelhöhle, indem man den Hautlappen von hinten her sorgfältig und glatt wieder über die Öffnung legt. Ein Annähen des Hautlappens ist nicht erforderlich. Schließlich bringt man das operierte Tier in ein breites und flaches Glasgefäß, das an seinem Boden 1—2 cm hoch mit physiologischer Kochsalzlösung bedeckt ist, und überläßt es an einem kühlen Ort längere Zeit sich selbst, bis das Erregungsstadium, das durch die Operation erzeugt ist und das sich anfangs gewöhnlich in heftigen Bewegungen äußert, vorübergegangen ist. In der nächsten Praktikumstunde wird



Fig. 106. Tonischer Reflex des großhirnlosen Frosches. *A* Hockstellung im ruhenden Zustande des Tieres. *B* Stellung beim tonischen Reflex.

das operierte Tier untersucht. Man überzeugt sich, ob die Operation gut gelungen ist, indem man prüft, ob das Tier in seinem Behälter in gerader symmetrischer Haltung mit angezogenen Extremitäten still sitzt. Man findet dann, daß die sog. spontanen Bewegungen stark eingeschränkt sind. Das Tier springt nicht mehr von selbst, es entflieht auch nicht bei Annäherung der Hand und es quakt nicht mehr von selbst. Dagegen sind die Reflexe sämtlich erhalten und erfolgen äußerst prompt. Man berührt das Tier leise mit einer Nadel an einem seitlichen Punkt der Rückenhaut, und das Tier führt eine Wischbewegung aus. Man drückt vorsichtig eine Zehe, und das Tier zieht die Extremität heftig zurück. Man reizt das Tier in der Nähe des Anus etwas stärker durch Berührung, Druck oder Stich, und das Tier springt mit einem großen Satz fort. Man reibt das Tier mit dem Finger auf der Rückenhaut, und es fängt an, rhythmisch leise zu quaken. (Quakreflex). Man legt das Tier auf den Rücken, und es ist sofort prompt und geschickt wieder in seiner natürlichen Hockstellung auf den Beinen. Man faßt das Tier zwischen Daumen und Mittelfinger seitlich an der Wirbelsäule, indem man die Zeigefingerspitze auf die Rückenhaut legt und 1—2 Sekunden lang die

Rückenhaut reibt, und das Tier richtet sich unter Quaken auf, indem es in Katzenbuckelstellung mit halb gespreizten Extremitäten stehen bleibt und seine Skelettmuskeln längere Zeit tonisch innerviert (Fig. 106). Dieser allgemeine tonische Reflex ist nur bei Temporarien deutlich zu sehen. Sein Zentrum liegt wie das des Quakreflexes und des Lagereflexes in der Basis des Mittelhirns. Nach Exstirpation des Mittelhirns hören diese Reflexe auf. Man kann schließlich den großhirnlosen Frosch, wenn man ihn an einem kühlen Ort aufbewahrt und öfter mit frischem Wasser versorgt, über ein Jahr am Leben erhalten.

Zwangsstellungen und Zwangsbewegungen beim Frosch. Da beim Frosch das motorische Hauptkoordinationsgebiet, das beim Vogel und Säugetier im Kleinhirn liegt, vom Mittelhirn gebildet wird, so hat totale Exstirpation des Mittelhirns vollständigen Verlust des Lagereflexes, einseitige Verletzung oder Zerstörung des Mittelhirns Zwangsstellungen, d. h. unsymmetrische Körperhaltungen und bei Lokomotionen des Körpers Zwangsbewegungen, d. h. unsymmetrische, nicht geradlinige Bewegungen zur Folge. Man öffnet bei einem Frosch in der eben geschilderten Weise die Schädelkapsel, jedoch ohne das Großhirn herauszunehmen, so daß die Hirnteile in voller Ausdehnung frei liegen, und schneidet mit einem dünnen, spitzen Messer auf der einen Gehirnhälfte mit einem queren Schnitt die Übergangspartie zwischen Mittelhirn und vorderem Teil der Medulla oblongata durch. Darauf schließt man die Wunde wieder mit dem Hautlappen und läßt das Tier sich einige Zeit erholen. Man bemerkt dann, daß das Tier beim ruhigen Hocken eine schiefe Körperhaltung einnimmt, indem es mit dem Kopf oder auch mit dem Rumpf um die Längsachse gedreht erscheint und eventnell auch die Extremitäten der einen Körperseite etwas vom Rumpfe abspreitzt (Fig. 107). Kriecht oder springt das Tier spontan oder veranlaßt man es durch Reize zur Lokomotion, so sieht man, daß es sich nicht geradlinig fortbewegt, sondern in einer Kreislinie. Diese Kreislinie kann einen sehr großen Radius haben, dann spricht man von „Manègebewegung“, sie kann einen sehr kleinen Radius haben oder ihr Radius kann = 0



Fig. 107. Zwangsstellung vom Frosch nach einseitiger Mittelhirnverletzung.

sein, so daß sich das Tier nur am Orte um eine senkrechte Achse dreht, dann spricht man von „Uhrzeigerbewegung“, oder endlich es kann die Drehung um die Längsachse so stark überwiegen, daß das Tier sich am Orte um seine Längsachse wälzt, dann spricht man von „Rollbewegung“. Die letzteren Formen sind selten extreme Fälle. Eine genügende Analyse der Zwangshaltungen und Zwangsbewegungen liegt bisher noch nicht vor.

Tonischer Lagereflex. Sog. Hypnose der Tiere. Unter dem Titel „De imaginatione Gallinae“ beschreibt der Jesuitenpater Athanasius Kircher ein „Experimentum mirabile“ am Huhn, das in neuerer Zeit in der Wissenschaft sehr bekannt geworden ist, weil



Fig. 108. Tonischer Lagereflex des Huhnes. Experimentum mirabile des Pater Kircher.

man die ihm zugrunde liegende Erscheinung als „tierische Hypnose“ deuten zu müssen glaubte. In Wirklichkeit handelt es sich dabei nicht um Hypnose, sondern lediglich um einen tonisch gewordenen Lagekorrektionsreflex, der durch eine abnorme Körperlage ausgelöst und, durch Unterdrückung der Rückkehr des Tieres in die normale Körperlage, künstlich zur Annahme seines tonischen Charakters veranlaßt wird. Der Versuch ist in seiner einfachsten Art folgender:

a) Am Huhn: Faßt man ein Huhn zaghaft an und versucht man, es in eine abnorme Körperlage zu bringen, so wird man finden, daß das Tier sich lebhaft sträubt und aus der veränderten Lage durch Flügelschlag und Beinbewegungen wieder in die normale aufrechte Körperlage zu gelangen sucht, um sofort zu entfliehen, sobald man es losläßt. Ergreift man aber das Huhn plötzlich fest mit beiden Händen, dreht man es schnell und sicher in eine abnorme Rückenlage und verhindert man einige Sekunden lang seine Lagekorrektionsanstrengungen,

so fühlt man zwischen den Händen, wie das Tier plötzlich keine Bewegungen mehr macht, sondern mit tonisch innervierten Muskeln der Extremitäten ruhig liegen bleibt. Entfernt man nun die Hände vorsichtig und sehr langsam, so daß jedes schnelle Umsinken des Tieres und jede hastige Bewegung der Hände vor seinen Augen vermieden wird, so verharrt das Tier jetzt ohne aufzuspringen in seiner abnormen Rückenlage (Fig. 108). In dieser Stellung kann es minutenlang, ja wenn man jeden Sinnesreiz vorsichtig vermeidet, eine Viertelstunde und darüber liegen. Dann steht es plötzlich von selbst wieder auf. Ebenso kann man jeden Augenblick das Aufstehen aus seiner abnormen Lage veranlassen, wenn man das Tier durch irgendeinen plötzlichen Sinneseindruck reizt (plötzliches Anblasen, Anstoßen, Händeklatschen usw.). Es sei nochmals betont, daß es unbedingt notwendig ist, das Tier schnell, sicher, geschickt und fest zu ergreifen, umzudrehen und niederzuhalten. Faßt man es nicht fest und sicher an, so



Fig. 109. Tonischer Lagereflex beim Meerschweinchen.

kann das Tier sich bewegen und versucht immer wieder von neuem, seine Körperlage zu korrigieren, der Lagereflex wird nie tonisch.

b) Am Meerschweinchen: Derselbe Versuch kann am Meerschweinchen ausgeführt werden, doch darf man dazu nicht allzu junge Tiere wählen. Man ergreift ein ruhig auf dem Tische oder im Kasten sitzendes Meerschweinchen mit beiden Händen, dreht es plötzlich in seine Rückenlage und verhindert es sicher und geschickt an seiner Lagekorrektion. Dann entfernt man vorsichtig die Hände und das Tier bleibt nun in seiner Rückenlage liegen. Beim Meerschweinchen kann man noch besser als beim Huhn die charakteristische Körperhaltung und den tonischen Charakter der Muskelinnervation, die diese Haltung bedingt, erkennen. Man wird bemerken, daß alle die Muskeln innerviert sind, die dazu dienen, das Tier aus der Rückenlage in die normale Bauchlage zurückzuführen. Der Rumpf ist wie zum Aufstehen gedreht, ebenso der Kopf und die Augenbulbi. Die hinteren Extremitäten haben eine überaus charakteristische Haltung. Die eine ist gestreckt und zum Abstoßen gegen die Unterlage gedrückt, so daß dadurch die Umdrehung des Körpers nach der entgegengesetzten Seite befördert werden muß. Die andere ist frei in die Luft erhoben

(Fig. 109). Man kann sich von der tonischen Innervation der Muskeln an den Hinterextremitäten überzeugen, indem man ganz langsam den Zeigefinger an die Zehen annähert — überhaupt sind alle hastigen Bewegungen vor den Augen des Tieres zu vermeiden, da das Tier sonst sofort aufspringt — und vorsichtig immer stärker und stärker dagegen drückt. Man wird einen bemerkenswerten Widerstand der Muskeln finden und kann das Tier auf diese Weise nicht selten wie einen Schlitten auf der Unterlage fortschieben. Alle die Muskeln, welche die Umdrehung des Tieres in die normale Körperlage bewirken, erscheinen tonisch innerviert. Das Tier sieht aus, als wenn es in einem Versuch sich umzudrehen plötzlich versteinert wäre (Fig. 109). Ein leiser Reiz läßt das Tier wieder auf die Beine springen.

4. Das sympathische Nervensystem.

Theoretische Vorbemerkungen. Der Sympathicus bildet einen Anhang des zerebrospinalen Nervensystems. Einerseits empfängt er von diesem markhaltige Nervenfasern, andererseits besitzt er selbständige Ganglienzellen mit marklosen Fasern. Die zerebrospinalen Fasern treten teils mit den Gehirnnerven aus und gehen zu den sympathischen Ganglien des Kopfes (Ganglion ciliare, sphenopalatinum, oticum, submaxillare), teils mit den Spinalnerven durch deren Rami viscerales und bilden beiderseits den Grenzstrang, in den sympathische Ganglien eingelagert sind. Die zerebrospinalen Fasern endigen teils in diesen Ganglien, teils gehen sie durch dieselben hindurch. Von den sympathischen Ganglien des Kopfes und des Grenzstranges treten sympathische marklose Nervenfasern aus, die einerseits die Ganglien des Grenzstranges untereinander verbinden und andererseits peripherische Teile, wie Pupille, Drüsen, Verdauungstraktus, Urogenitalsystem, Herz, Gefäßmuskeln, Pilomotoren usw. versorgen.

Durchschneidung und Reizung des Halssympathicus. Über die Präparation des Halssympathicus und die Wirkung der Vasokonstriktorenfasern siehe oben p. 118. Der folgende Versuch kann mit dem dort beschriebenen vereinigt werden. Nach der Durchschneidung des Halssympathicus beobachtet man am Auge der operierten Seite eine Verengerung der Pupille, weil der Tonus des dilatatorischen Zentrums sich nicht mehr auf die Pupille fortpflanzen kann und die Wirkung des Okulomotoriuszentrums, das die pupillenverengernden Fasern entsendet, allein übrig bleibt. Bei Reizung des nach dem Kopf zu gelegenen Sympathicusstumpfes sieht man dementsprechend wieder eine starke Erweiterung der Pupille. Die Wirkung der Sympathicusreizung wird besonders deutlich, wenn man das Auge der operierten Seite dem Lichte zukehrt, so daß infolge des Pupillarreflexes die Pupille sehr eng ist. Dann beobachtet man bei Reizung des Sympathicus eine besonders auffällige Erweiterung der Pupille.

X. Sinnesorgane.

Die Sinnesorgane bilden die Aufnahmeorgane des Körpers für die Reize, d. h. für die Veränderungen, die sich in seinen Lebensbedingungen vollziehen. Sie reagieren auf diese Veränderungen mit Erregungen oder Lähmungen, von denen sie die ersteren auf die mit ihnen in Verbindung stehenden Nervenfasern übertragen. Die Sinnesorgane sind also Vermittler zwischen Außenwelt und Nervensystem. Obwohl die Sinneszelle wie jede Zelle ihre „spezifische Energie" (JOHANNES MÜLLER) hat, d. h. obwohl sie auf die verschiedensten Reizqualitäten stets mit einer Erregung oder Lähmung ihrer spezifischen Lebensprozesse reagiert, ist sie doch ganz besonders leicht erregbar durch eine bestimmte Reizqualität, für deren Aufnahme sie speziell differenziert ist. Diese Reizart bildet den „adäquaten Reiz" im Gegensatz zu allen anderen „inadäquaten Reizen". Jede Sinneszelle nimmt also aus der Summe von Reizen, die fortwährend in der Umgebung des Körpers entstehen, ganz bestimmte heraus, und bringt sie in die Form von Erregungen, in der sie im Nervensystem weitergeleitet und von den zentralen Teilen desselben weiter umgeformt und verwertet werden. Der Enderfolg eines solchen Prozesses besteht in einer zweckmäßigen, d. h. der intakten Erhaltung des Lebens dienenden Reaktion oder Stellungnahme des Körpers gegenüber der betreffenden Veränderung in seiner Umgebung. Beim Menschen und, wie wir aus Analogie schließen dürfen, auch bei den höheren Tieren kann der Erfolg einer Sinnesreizung in einer bewußten Sinnesempfindung bestehen, die eventuell wieder zu einer Willensaktion oder zur Bildung einer Vorstellungs- oder Gedankenreihe führen kann. Die wesentlichen Bedingungen für das Zustandekommen einer Sinnesempfindung liegen aber nicht im Sinnesorgane oder in den Faserbahnen der Sinnesnerven, sondern in den Ganglienzellen der betreffenden Sinnessphäre des Großhirns, wie das Auftreten von Sinnesempfindungen auch nach Verlust des Sinnesorgans (z. B. Integritätsempfindungen in Amputationsstümpfen) oder bei vollständigem Fehlen eines Reizes auf das Sinnesorgan (Halluzinationen) usw. bei krankhaften Prozessen oder Erregungszuständen der Großhirnrinde beweist. Dennoch sind bei keinem Menschen Sinnesempfindungen vorhanden, wenn sie nicht ursprünglich einmal von den entsprechenden Sinnesorganen her durch Außenreize hervorgerufen worden sind. Die Sinnesreize bilden die funktionellen Reize für die Entwicklung der Sinnessphären. Ohne diese funktionellen Reize bleibt die Reifeentwicklung der Zellen in den Sinnessphären und ihrer physiologischen Funktion aus. Blindgeborene und Taubgeborene haben daher keine Gesichts- resp. keine Gehörsempfindungen. Mit den Sinnesempfindungen sind untrennbar die Vorstellungen verknüpft. Eine Vorstellung ist nichts anderes, als das Erinnerungsbild einer Empfindung, das ohne den entsprechenden Sinnesreiz reproduziert wird. Ohne Empfindung also auch keine Vorstellung. Die Vorstellungen führen durch Assoziation zu Vorstellungsreihen, d. h. Gedanken. Ohne Empfindungen also auch kein Denken. So liefern die Sinnesreize uns das gesamte Material für unsere Erkenntnis der Außenwelt, für unser Weltbild, für unser geistiges Leben. Indessen muß nicht immer jeder Sinnesreiz eine bewußte Empfindung liefern. Zahllose Sinnesreize führen gar nicht zur Erregung von Zellen der Groß-

hirnrinde, sondern lediglich zur Auslösung von unwillkürlichen und unbewußten Reflexen (z. B. viele Hautreize, welche Gefäßreflexe, Lagereflexe usw. vermitteln).

Seit alter Zeit pflegt man beim Menschen fünf Sinne zu unterscheiden: Gesicht, Gehör, Geruch, Geschmack, Gefühl. Was dabei Gefühl genannt wird, ist in neuerer Zeit vielfach als „Hautsinn" bezeichnet worden, stellt aber in Wirklichkeit keinen einheitlichen Sinn, sondern eine ganze Reihe von Sinnesgebieten vor, nämlich Druck- oder Tastsinn, Wärmesinn, Kältesinn und Schmerzsinn.

1. Hautsinn.

Theoretische Vorbemerkungen. Die Trennung des Hautsinnes in verschiedene Einzelsinne ist dadurch geboten, daß wir verschiedene Einzelsinne lokalisiert auf der Körperoberfläche differenzieren können. So ist z. B. die Mitte der Cornea, die Zahnpulpa und die Innenfläche des Darmtraktus nur schmerzempfindlich und vermittelt keine anderen Sinnesempfindungen. Dagegen liefert der Cornearand und die Conjunctiva sowie die Glans penis außer Schmerzempfindungen auch Temperaturempfindungen, aber keine Druck- oder Tastempfindungen. Ein Teil der Wangenschleimhaut wiederum gibt sowohl Temperatur-, wie Druck- oder Tastempfindungen, dagegen keine Schmerzempfindungen. Die ganze übrige Körperoberfläche endlich vermittelt sowohl Temperatur- (Kälte- und Wärme-), als auch Druck- oder Tast-, wie auch Schmerzempfindungen. Die Tatsache, daß von bestimmten Körperstellen nur Schmerz- aber keine anderen Empfindungen ausgelöst werden können, hat dazu geführt, den Schmerzsinn als eigenen Sinn aufzufassen im Gegensatz zu der früher allgemein und auch heute noch vielfach üblichen Vorstellung, daß der Schmerz nur ein höherer Intensitätsgrad anderer Hautempfindungen (Druck, Wärme, Kälte) sei. Die Sinnesorgane des Hautsinnes sind sehr verschieden. Man kennt in der Haut die MEISSNERschen Tastkörperchen, die VATER-PACINIschen Körperchen, die KRAUSEschen Nervenendkolben und die freien Nervenendigungen. Welche von diesen Apparaten diesem, welche jenem Sinnesgebiete zugeteilt werden müssen, ist vorläufig noch vielfach zweifelhaft. Höchstwahrscheinlich sind die MEISSNERschen Körperchen die Organe des Tastsinnes. An Stellen, von denen nur Schmerz vermittelt wird, findet man nur freie Nervenendigungen.

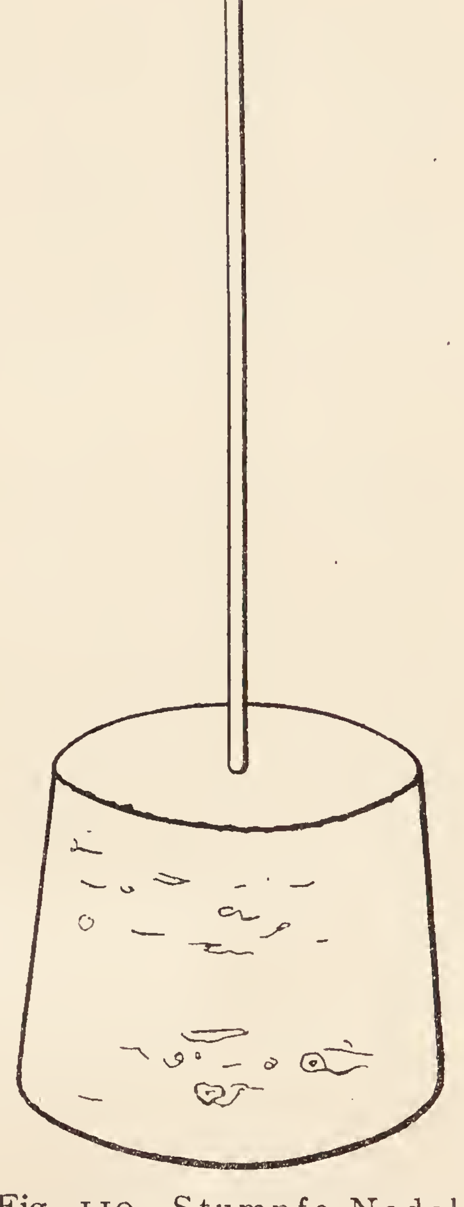


Fig. 110. Stumpfe Nadel zur Bestimmung der Temperaturpunkte.

Wärme- und Kältepunkte der Haut. Man bricht eine dünne Stricknadel in zwei Hälften und befestigt sie mit den Bruchstellen in

je einem Kork, der als temperaturisolierende Handhabe dienen kann (Fig. 110). Die eine Nadel steckt man alsdann in Eis, die andere erwärmt man schwach (!) über der Flamme. Sodann führt man zunächst die stumpfe Spitze der erwärmten Nadel in unregelmäßigen Linien über den Handrücken der linken Hand. Man wird beobachten, daß nur an bestimmten Punkten plötzlich eine Wärmeempfindung aufblitzt (Wärmepunkte), daß dagegen von den dazwischen liegenden Strecken nur Tastempfindungen ausgelöst werden. Schließlich macht man den gleichen Versuch mit der abgekühlten Nadel und findet dabei entsprechende Kältepunkte. Die Wärmepunkte sowohl wie die Kältepunkte liegen in ziemlich weiten Distanzen voneinander und unregelmäßig über den Handrücken zerstreut.

2. Geruch und Geschmack.

Theoretische Vorbemerkungen. Mittels des Geruches werden die gasförmigen, mittels des Geschmackes die gelösten chemischen Stoffe wahrgenommen. Die Sinnesorgane des Geruchssinnes bilden die zylindrischen resp. spindelförmigen, auf ihrem freien Ende mit Riechhaaren besetzten Riechzellen der Regio olfactoria auf dem oberen Teil des Septums und der Mitte der oberen Muschel. Die Sinnesorgane des Geschmacksinnes bilden die spindelförmigen Geschmackszellen der melonenförmigen Geschmacksknospen in den Papillae circumvallatae und fungiformes. Die Zahl der Gerüche und Geschmäcke ist unabsehbar mannigfaltig. Eine Einteilung der Gerüche nach physiologischen Gesichtspunkten fehlt bisher noch. Bemerkenswert ist die unendliche Feinheit des Geruchssinnes, die es gestattet, z. B. noch $^1/_{460\,000\,000}$ mg Merkaptan in 1 ccm Luft wahrzunehmen, sowie die sehr schnelle Ermüdbarkeit und Erholbarkeit des Geruchssinnes. Auf der schnellen Ermüdbarkeit beruht vielfach auch die Tatsache, daß manche Stoffe in starker Konzentration schwach oder gar nicht, in sehr schwacher Konzentration stark oder ganz anders riechen. Die Interferenz von zwei Gerüchen kann entweder zu einem Mischgeruch oder in anderen Fällen zu einer völligen gegenseitigen Aufhebung führen (ZWAARDEMAKER). Unter den Geschmäcken pflegt man die Gruppen des bitteren, süßen, salzigen, sauren, alkalischen und metallischen Geschmackes zu unterscheiden, ohne daß aber diese Einteilung als eine definitive betrachtet werden kann. Verschiedene Geschmäcke sind auf verschiedenen Partien der Zunge lokalisiert (süß am vorderen, bitter am hinteren Teil der Zunge). Damit ein Geschmack entstehen kann, muß der schmeckende Stoff mechanisch durch Bewegung der Zunge in die Papillen eingepreßt oder eingerieben werden. Viele Empfindungen, die wir im täglichen Leben als Geschmacksempfindungen zu bezeichnen pflegen, sind in Wirklichkeit Geruchsempfindungen. Geschmack und Geruch sind die physiologisch am wenigsten untersuchten Sinnesgebiete.

Wirkung verschiedener Konzentration auf den Geruch. Man riecht an einem Fläschchen mit reinem Jonon, das aus dem chemischen Laboratorium zu besorgen ist. Der Geruch des Öls ist

der schwache Geruch des Cedernöls (Bleistiftgeruch). Nunmehr verdünnt man einen Tropfen Jonon mit 200 ccm absoluten Alkohols, mischt gut und verreibt etwas von der Flüssigkeit auf den Handflächen. Nach vollständiger Verdunstung des Alkohols hat man den intensiven Geruch von Veilchen. Ferner: Man riecht zuerst an reinem kristallisierten Heliotropin und findet nur einen sehr schwachen Heliotropgeruch. Dann löst man einige Kristalle in einer reichlichen Menge reinen Alkohols und verreibt eine kleine Probe zwischen den Händen, bis der Alkohol vollständig verdampft ist. Jetzt erhält man einen sehr intensiven Heliotropgeruch.

Verwechslung des Geruchs und Geschmacks der Zwiebel. Der Versuch wird am besten mit jemandem gemacht, der ihn noch nicht kennt. Man läßt die Versuchsperson die Augen schließen und die Nase mit den Fingern zuhalten und führt ihr aus einem vorher verschlossenen Behälter eine frische Zwiebelscheibe mit einer Pinzette in den Mund. Dann läßt man sie den Geschmack prüfen und angeben, was es ist. Die Versuchsperson pflegt gewöhnlich nach der Konsistenz auf Apfel, Kartoffel oder Rettig zu raten. Schließlich läßt man die Nase öffnen, so daß der Zwiebeldampf über die Regio olfactoria streichen kann, und sofort wird die Zwiebel erkannt.

Ausbleiben des Geschmacks bei unbewegter Zunge. Man läßt die Versuchsperson die Zunge vorstrecken und bringt ihr mit einer Augentropfpipette vorsichtig einen großen Tropfen einer 20proz. Rohrzuckerlösung auf die Zungenspitze. Solange die Zunge bewegungslos vorgestreckt gehalten wird, entsteht keine Geschmacksempfindung. Erst wenn die Zunge eingezogen und mit der Spitze gegen den harten Gaumen gerieben wird, tritt die Empfindung des Süßen auf.

3. Gehör.

Theoretische Vorbemerkungen. Der Gehörsinn vermittelt die Wahrnehmung von Schallwellen, die hervorgerufen werden durch Schwingungen der Luftteilchen. Die Schallwellen werden wahrgenommen als Töne, wenn sie periodisch, als Geräusche, wenn sie unregelmäßig wechselnd auftreten. Bei allen Tönen unterscheidet man die Tonstärke, die abhängig ist von der Amplitude der Schwingungen, ferner die Tonhöhe, die beherrscht wird von der Anzahl der Schwingungen in der Sekunde, und endlich die Klangfarbe, die bedingt ist durch die Schwingungsform, welche durch die Anzahl der Obertöne gegeben ist, denn die meisten Toninstrumente geben nicht einfache Töne, sondern Klänge, die aus dem Grundton und einer Anzahl von Obertönen zusammengesetzt sind, d. h. Tönen, deren Schwingungszahlen in einfachem Verhältnis zum Grundton stehen. Einfache Töne, d. h. einfache Pendel-

schwingungen, liefern z. B. die Stimmgabeln. Zur Analyse der Klänge kann man sich der Resonatoren bedienen. Unter Resonanz versteht man das Mitschwingen von Körpern, wenn ihr Eigenton in der Nähe ertönt. So kann man mittels abgestimmter Kugelresonatoren aus einer gegebenen Klangmasse die darin enthaltenen einfachen Töne durch Verstärkung deutlich herausheben. Die äußersten Grenzen der Wahrnehmung einfacher Töne liegen etwa bei 16 und 40 000 Schwingungen in der Sekunde. Weniger als 16 Schwingungen erscheinen nicht mehr als Töne, sondern als Geräusche, mehr als 40 000 Schwingungen werden überhaupt nicht wahrgenommen. Die meisten Menschen hören schon nichts mehr bei 35 000 Schwingungen in der Sekunde. Töne, deren Schwingungszahlen in einem einfachen Verhältnis (1 : 2 : 3 usw.) zueinander stehen, bilden,

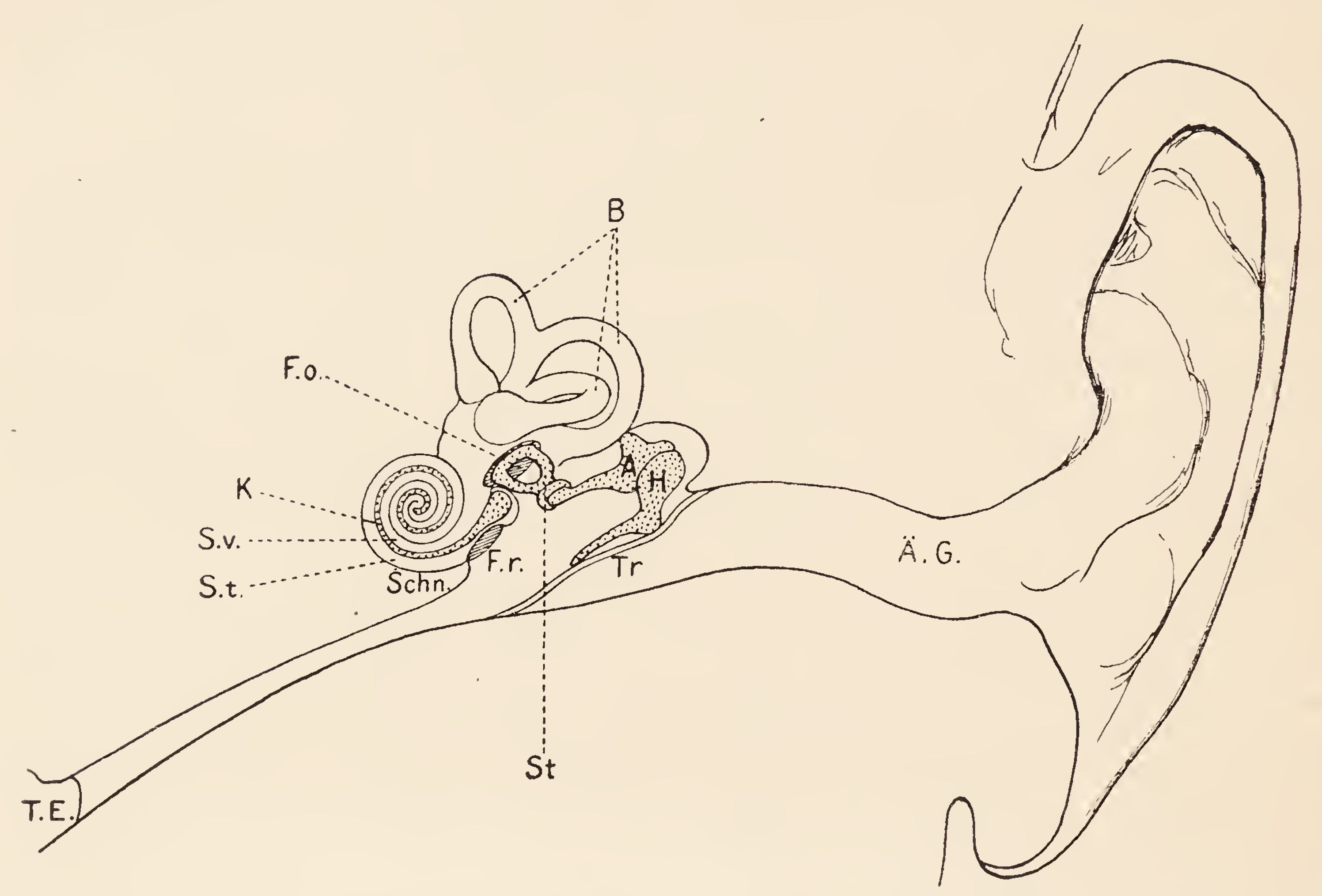


Fig. 111. Gehörorgan. (Kombinationsschema: die einzelnen Abschnitte sind hier in die gleiche Ebene projiziert, was der Wirklichkeit nicht entspricht.) *Ä. G.* Äußerer Gehörgang, *Tr* Trommelfell, *H* Hammer, *A* Amboß, *St* Steigbügel, *T. E.* Tuba Eustachii, *Schn.* Schnecke, *F. o.* Fenestra ovalis, *F. r.* Fenestra rotunda, *K* Knochen der Lamina spiralis, *S. v.* Scala vestibuli, *S. t.* Scala tympani, *B* Bogengänge mit Ampullen.

wenn sie zusammen ertönen, einen Wohlklang, eine Harmonie. Zu den Tonverhältnissen mit einfacheren Schwingungszahlen, die harmonische Wohlklänge (Konsonanzen) geben, gehören auch die Akkorde, deren Paradigma der Dur-Akkord ist. Das Verhältnis der Schwingungszahlen beim Dur-Akkord, wie es mittels einer Lochsirene dargestellt werden kann, ist folgendes: Grundton: Oktave = 1 : 2, Grundton: Terz = 1 : 1¼, Grundton: Quinte = 1 : 1½. Ertönen zwei Töne, deren Schwingungszahlen nicht in einem einfacheren Verhältnis zueinander stehen, gleichzeitig, so erhält man nicht einen harmonischen Klang, sondern Schwebungen durch Interferenz, indem einmal Wellenberg mit Wellenberg und Wellental mit Wellental, das andere Mal Wellental mit Wellenberg der beiden Schwingungen zusammenfallen, so daß im ersteren Falle eine Verstärkung, im zweiten eine Schwächung der Tonintensität entsteht.

Erreichen die Schwebungen eine bestimmte Zahl in der Sekunde, so erwecken sie eine unangenehme Empfindung, eine Disharmonie. Bei einer Zahl von 33 Schwebungen in der Sekunde ist die Disharmonie am größten.

Damit eine Tonempfindung entstehen kann, ist es nötig, daß die Schallwellen von der Luft aus bis zu den Sinneszellen des Gehörorgans fortgepflanzt werden. Das geschieht durch die Schalleitung im Ohr. Man pflegt das Gehörorgan anatomisch in drei Abschnitte zu gliedern: äußeres Ohr (Ohrmuschel und äußerer Gehörgang), mittleres Ohr (Trommelfell, Paukenhöhle mit Gehörknochen und Tuba Eustachii) und inneres Ohr (Labyrinth mit Schnecke und Bogengängen) [Fig. 111]. Das äußere Ohr dient als Schalltrichter zum Auffangen der Schallwellen, hat aber beim Menschen gegenüber vielen Tieren eine sehr geringe Bedeutung.

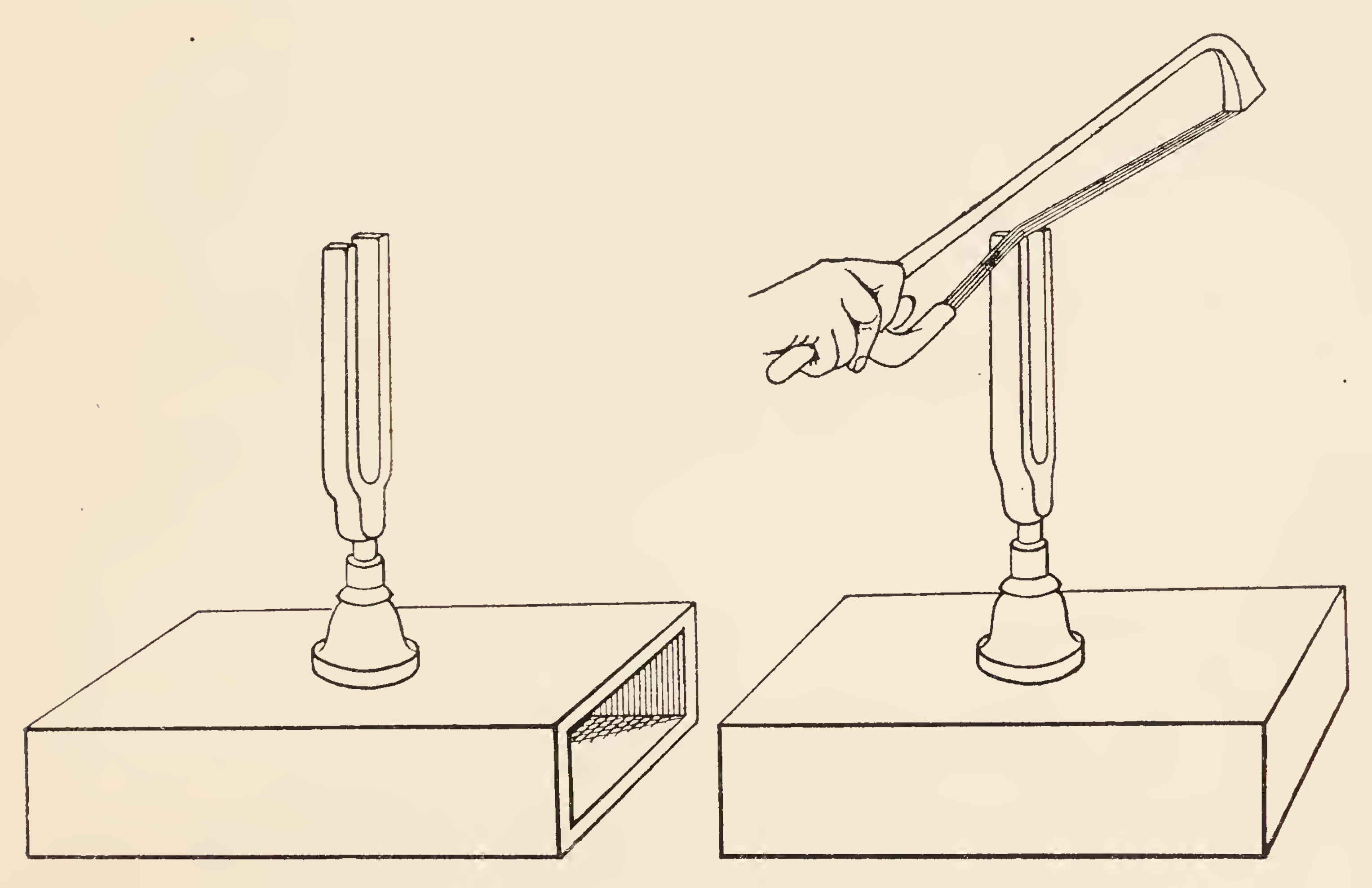


Fig. 112. Resonanz von Stimmgabeln.

Das Trommelfell (*Tr*) wird durch die Schallwellen in Schwingungen versetzt und überträgt dieselben durch Vermittlung der gelenkig miteinander verbundenen Gehörknochen, Hammer (*H*), Amboß (*A*) und Steigbügel (*St*), auf die Membran der Fenestra ovalis (*F. o.*). Die Schwingungen der Membran der Fenestra ovalis übertragen sich auf die Labyrinthflüssigkeit in der Schnecke (*Schn.*). Die letztere ist der ganzen Länge ihrer Windungen nach durch eine Knochenlamelle (*K*), die Lamina spiralis mit der Membrana basilaris, in eine obere und untere Etage geteilt, die Scala vestibuli (*S. v.*) und die Scala tympani (*S. t.*), die oben in der Spitze der Schnecke durch das Helicotrema miteinander kommunizieren und, wie das ganze häutige Labyrinth, mit Endolymphe gefüllt sind. Die Schwingungen der Fenestra ovalis verlaufen durch die Endolymphe der Scala vestibuli bis zur Schneckenspitze und von hier durch das Helicotrema zur Endolymphe der Scala tympani, die nach der Paukenhöhle zu an der Fenestra rotunda (*F. r.*) wieder durch eine Membran abgeschlossen ist.

Von der Fenestra ovalis durch die ganze Schnecke hindurch bis zur Fenestra rotunda wird also die Endolymphe in Schwingungen versetzt. Innerhalb der Scala vestibuli wird nach der äußeren Seite hin durch die Membrana Reissneri ein kleiner Kanal abgetrennt, der Ductus cochlearis, in dem sich auf der basalen Membrana basilaris das Cortische Organ befindet. Die Härchenzellen des Cortischen Organs sind die Sinneszellen, die durch die Erschütterungen der Endolymphe erregt werden und ihre Erregung auf die Enden des Ramus cochlearis des Acusticus übertragen.

Der übrige Teil des Labyrinths, der Sacculus und der Utriculus mit den drei Ampullen und Bogengängen (*B*) (halbzirkelförmigen Kanälen), dient nicht dem Hören, sondern ist ein der Erhaltung des Körpergleichgewichts und der Orientierung im Raum dienendes Sinnesorgan (statisches Sinnesorgan). In den Ampullen endigen die Fasern des Ramus vestibularis des Acusticus an Zellen mit je einer starren Borste. Über den Borsten liegt die feine Membrana tectoria, die im Sacculus und Utriculus mit einem feinen Staub von Statolithen (früher Otolithen genannt) bedeckt ist. Dieses statische Sinnesorgan spielt beim Menschen nicht die hervorragende Rolle wie bei vielen Tieren, weil beim Menschen das Körpergleichgewicht auch noch durch andere Sinnesorgane (Auge, Haut- und Muskelsinnesorgane) in prompter Weise erhalten wird. Bei Vögeln, Fischen und zahlreichen wirbellosen Tieren dagegen entstehen nach Exstirpation des Statolithenapparates die schwersten Störungen in der Lagekorrektion.

Resonanz von Stimmgabeln. Zwei Appunnsche Stimmgabeln von gleicher Schwingungszahl mit Resonanzkästen werden so einander gegenüber aufgestellt, daß die Öffnungen ihrer Resonanzkästen einander zugekehrt und nur wenige Zentimeter voneinander entfernt sind. Dann wird die eine Stimmgabel mit einem Violinbogen, dessen Haare mit Kolophonium eingerieben sind, angestrichen (Fig. 112), so daß sie stark zu tönen beginnt. Ist das der Fall, so wird die angestrichene Stimmgabel durch Berührung mit den Fingern zur Ruhe gebracht. Man hört jetzt die nicht angestrichene Stimmgabel infolge der Resonanz allein forttönen. Daß der Ton von den Schwingungen der nicht angestrichenen Stimmgabel herrührt, davon überzeugt man sich, indem man sie ebenfalls berührt. Der Ton hört dann sofort auf.

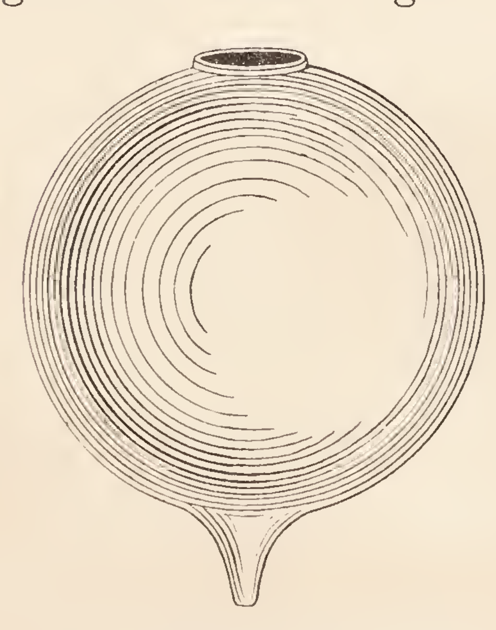


Fig. 113.
Kugelresonator.

Verstärkung einer Tonempfindung durch Resonatoren. Mittels einer Lippenpfeife mit ausziehbarem Rohr läßt man von jemandem nacheinander durch Veränderung der Rohrlänge Töne von verschiedener Höhe angeben. Gleichzeitig steckt man selbst einen Kugelresonator (Fig. 113), dessen Eigenton innerhalb der Tonskala der Pfeife gelegen ist, mit seiner spitzen Öffnung fest in das eigene Ohr. Sobald die Pfeife

den Ton angibt, der dem Eigenton des Resonators entspricht, erscheint der Pfeifenton enorm verstärkt. Man vergleicht abwechselnd die Intensität der betreffenden Tonempfindung mit und ohne Benutzung des Resonators.

Schwebungen. Man kann Schwebungen erzielen, indem man zwei Stimmgabeln von gleichen Schwingungszahlen benutzt und die eine derselben durch Ankleben eines Stückes Wachs an die eine Zinke ein wenig verstimmt. Streicht man jetzt beide Stimmgabeln mittels eines Violinbogens schnell hintereinander an, so daß sie gleichzeitig schwingen, so erhält man deutliche, langsame Schwebungen. Zur Herstellung von stark disharmonischen Schwebungen bedient man sich am besten eines Pfeifenpaares von gleicher Schwingungszahl, das man an einem Stativ befestigt und am Mundstück mittels eines T-förmigen Rohres mit einem Gummischlauch verbunden hat (Fig. 114), so daß man beide Pfeifen gleichzeitig anblasen kann. Beim Anblasen beider Pfeifen wird man zunächst nur einen einzigen Ton wahrnehmen. Setzt man nunmehr auf die eine Pfeife einen durch Zahn und Trieb ausziehbaren Tubus auf, durch den die Pfeifenröhre verlängert werden kann (Fig. 114, rechte Pfeife), so erhält man nach geeigneter Verlängerung dieses Ansatzrohres schrille disharmonische Schwebungen.

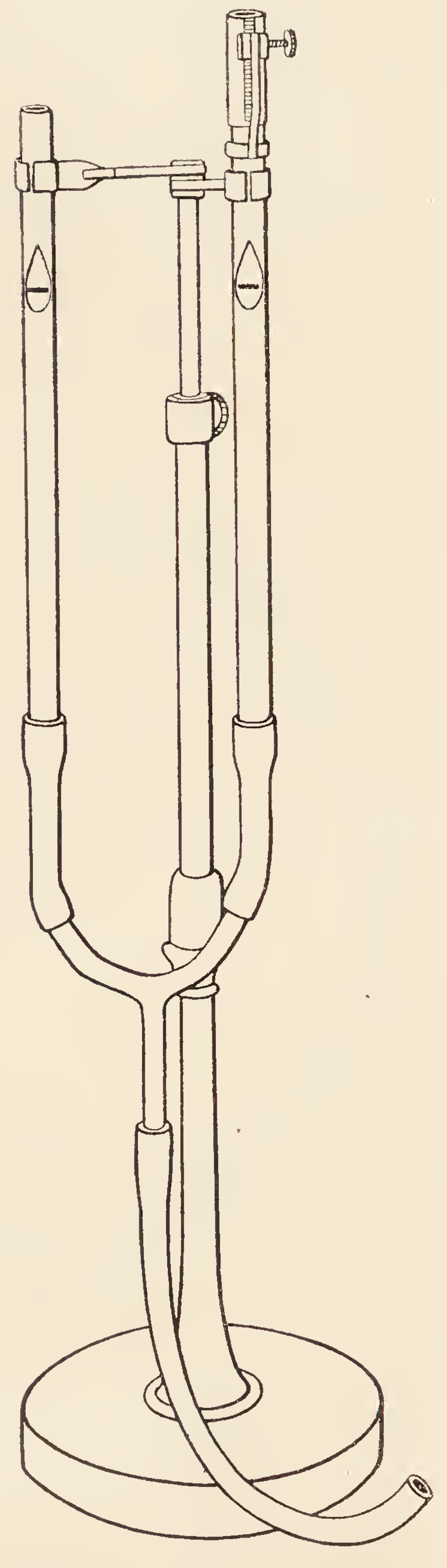


Fig. 114. Pfeifenpaar mit einem Ansatztubus zur Herstellung disharmonischer Schwebungen.

4. Gesichtssinn.

Theoretische Vorbemerkungen. a) Dioptrik. Das Auge ist ein zusammengesetztes optisches System, dessen Medien durch sphärisch gekrümmte und auf der gleichen optischen Achse zentrierte Flächen voneinander getrennt sind. Bestimmt man in einem solchen System 1. die Krümmungsradien der brechenden Flächen, 2. die Abstände der Krümmungsmittelpunkte voneinander und 3. die Brechungsindices der verschiedenen Medien, so kann man nach der Lehre von den Kardinalpunkten den Gang der Strahlen, die von einem Lichtpunkte außerhalb des Systems ausgehen, berechnen. Man findet dann, daß das Auge beim deutlichen Sehen ein verkleinertes umgekehrtes Bild von den Gegenständen der Außenwelt auf der Netzhaut entwirft. Am Auge eines Albinos, das pig-

mentlos ist, oder an einem mit seitlichem Fenster in Sklera und Chorioidea versehenen Auge kann man dieses Bild auf dem Augenhintergrunde objektiv sehen. Während nun bei einem leblosen optischen System dieser Art nur dann scharfe Bilder entstehen, wenn sich die Objekte in einer bestimmten Entfernung von demselben befinden, hat das Auge ein Mittel, um auch für die verschiedensten Entfernungen des Objektes scharfe Bilder zu liefern. Dieses Mittel ist der Akkommodationsmechanismus, der darin besteht, daß durch Elastizität und Muskelwirkung der Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche verändert werden kann, so daß die Linse ein verschiedenes Brechungsvermögen erhält. Beim Sehen in die Ferne ist die vordere Linsenfläche infolge des Zuges, den die rings um die Linse herumlaufende Zonula ZINNII (Fig. 115 *ZZ*) auf die Linse ausübt, weniger stark gekrümmt (Fig. 115 links). Beim Nahesehen dagegen wird durch Kontraktion des Ciliarmuskels je nach der Kontraktionsstärke die Zonula ZINNII mehr oder weniger entspannt, so daß die vordere Linsenfläche infolge der Elastizität der Linsensubstanz sich stärker vorwölben kann (Fig. 115 rechts). Ist das Auge für die Ferne eingestellt, so geben nahe gelegene Objekte unscharfe Bilder, weil sich die von ihren einzelnen Punkten ausgehenden Lichtstrahlen erst hinter der Netzhaut vereinigen. Ist das Auge dagegen für die Nähe akkommodiert, so geben fern gelegene Objekte unscharfe Bilder, weil die von je einem Punkte ausgehenden Strahlen sich schon vor der Netzhaut vereinigen.

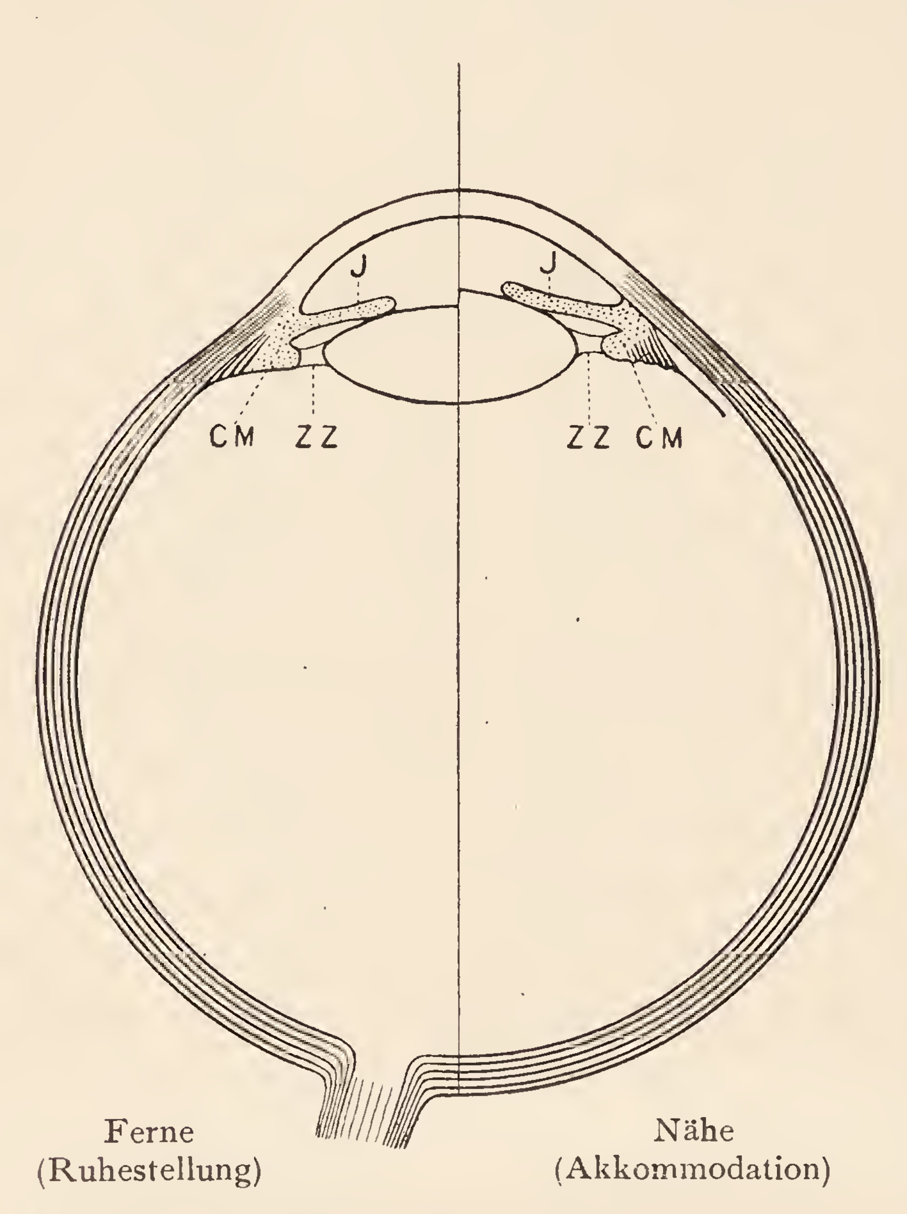


Fig. 115. Schema der Akkommodation. Auf der linken Seite ist die Form der Linse beim Sehen in die Ferne (Ruhestellung), auf der rechten Seite beim Sehen in die Nähe (Akkommodationsstellung) dargestellt. *J* Iris, *CM* Ciliarmuskel, *ZZ* Zonula ZINNII.

Der Pater SCHEINERsche Versuch demonstriert diese Tatsache dadurch, daß aus der Summe der von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen durch zwei eng nebeneinander liegende Stichlöcher in einem Kartenblatt zwei Strahlenbündel herausgeschnitten werden. Fixiert man mit einem Auge durch die beiden Stichöffnungen von zwei leuchtenden Punkten den ferneren, so erscheint der näher gelegene doppelt, fixiert man den näheren, so erscheint der ferner gelegene doppelt (vgl. Fig. 119). Der Punkt, auf den das Auge bei völliger Erschlaffung des Akkommodationsmuskels eingestellt ist, ist der Fernpunkt, der Punkt, der bei stärkster Akkommodationsanstrengung noch scharfe Bilder liefert, ist der Nahe-

punkt des Auges. Die Entfernung zwischen Fernpunkt und Nahepunkt ist die Akkommodationsbreite. Beim normalen oder emmetropischen Auge ist der Fernpunkt unendlich. Aus der unendlichen Ferne, also parallel, einfallende Strahlen werden bei völliger Akkommodationsruhe von ihm auf der Netzhaut vereinigt (Fig. 116 *A*). Der Nahepunkt des emmetropischen Auges liegt etwa 12 cm vor dem Auge. Beim weitsichtigen oder hypermetropischen Auge ist die Augenachse zu kurz. Parallel einfallende Strahlen vereinigen sich daher bei völliger Akkommodationsruhe bei ihm erst hinter der Netzhaut (Fig. 116 *B*). Damit beim akkommodationslosen hypermetropischen Auge Lichtstrahlen sich auf der Netzhaut vereinigen können, müssen sie konvergent einfallen, was ohne konvexe Sammellinsen nicht erreicht werden kann. Man korrigiert

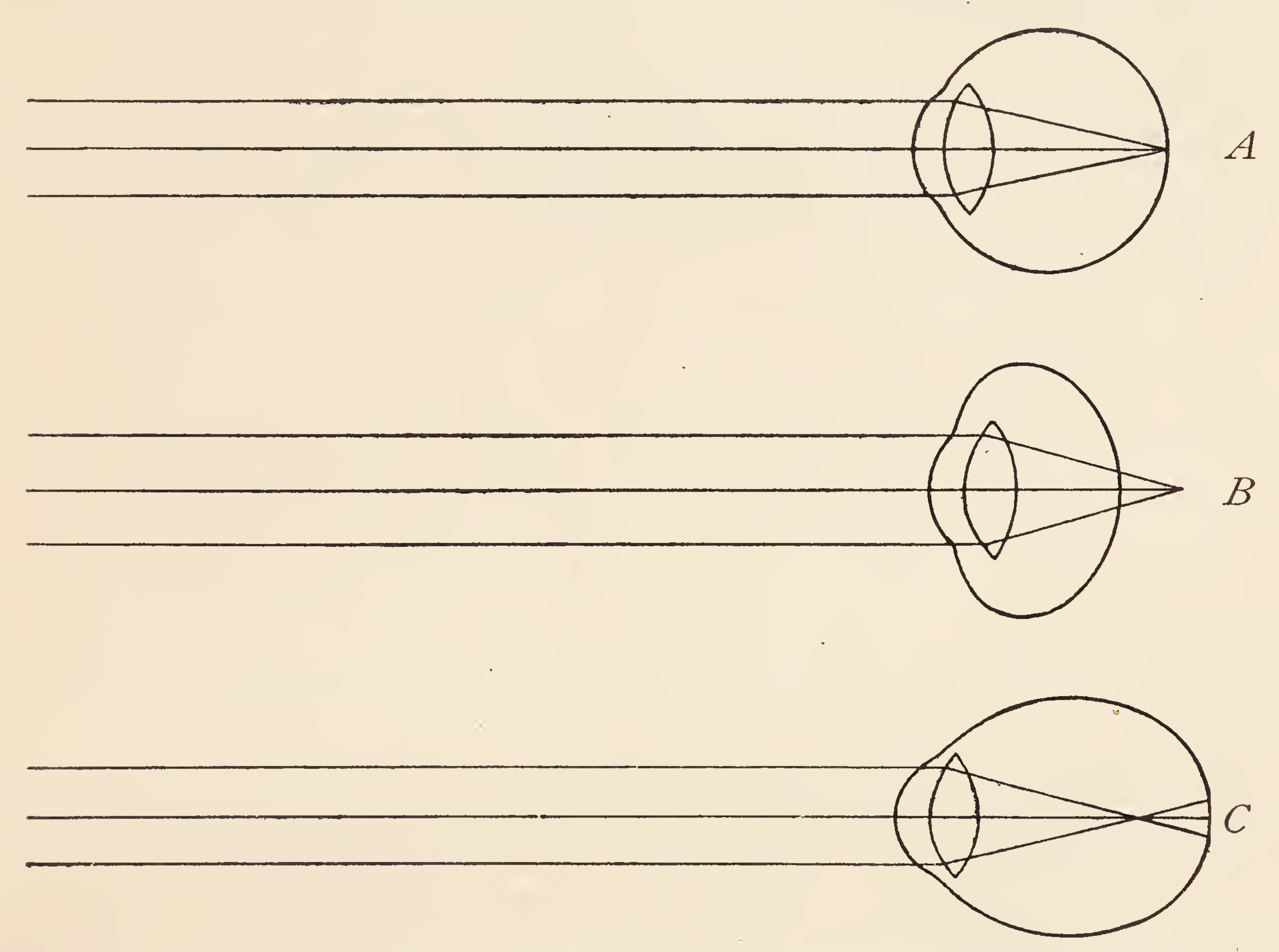


Fig. 116. Die drei Augentypen und ihr Verhalten gegen parallel einfallende Lichtstrahlen. *A* normales oder emmetropisches Auge. *B* weitsichtiges oder hypermetropisches Auge. *C* kurzsichtiges oder myopisches Auge.

also die Hypermetropie mit Konvexlinsen. Der Nahepunkt des hypermetropischen Auges liegt weiter vom Auge entfernt als normal. Beim kurzsichtigen oder myopischen Auge ist die Augenachse zu lang. Parallel einfallende Strahlen vereinigen sich daher bei völliger Akkommodationsruhe in ihm schon vor der Netzhaut (Fig. 116 *C*). Damit beim myopischen akkommodationslosen Auge Strahlen sich auf der Netzhaut vereinigen können, müssen sie divergierend einfallen, d. h. der Fernpunkt des myopischen Auges ist endlich und zwar sehr nahe. Man korrigiert daher die Myopie durch konkave Zerstreuungslinsen. Der Nahepunkt des myopischen Auges liegt ebenfalls näher als normal. Dem Zustande des normalen emmetropischen Auges gegenüber bezeichnet man die Zustände des hypermetropischen und myopischen Auges als Refraktionsanomalien. Nicht alle Punkte der Netzhaut geben scharfe Bilder. Die

Stelle des deutlichsten Sehens ist die Fovea centralis, die nicht genau in der Augenachse liegt. Um deutlich zu sehen, richten wir die Augen so, daß die vom Objekt ausgehenden Strahlen in die Fovea centralis fallen, wir „fixieren" das Objekt. Da in der Fovea centralis nur Zapfen, keine Stäbchen vorhanden sind, wird man den ersteren die Hauptbedeutung für den Sehakt zuschreiben müssen. Überhaupt nicht erregbar durch Lichtstrahlen sind die Opticusfasern selbst, wie der MARIOTTEsche Versuch beweist, der anschaulich demonstriert, daß die Eintrittsstelle des Opticus einen blinden Fleck im Gesichtsfelde bildet. Das Sehen mit der Fovea centralis nennt man direktes Sehen gegenüber dem Sehen mit dem übrigen Teile der Netzhaut, das als indirektes Sehen bezeichnet wird. Den Umfang des indirekten Sehens und somit des gesamten Gesichtsfeldes prüft man mit dem FÖRSTERschen Perimeter, indem man bei fixiertem Auge die Grenze feststellt, bei der Gegenstände aus dem Gesichtsfelde verschwinden. Das Gesichtsfeld ist nicht kreisförmig begrenzt.

b) Körperliches Sehen. Die Unterscheidung der Tiefendimensionen, d. h. mit anderen Worten, das Körpersehen, ist mit einem einzigen Auge nur unvollkommen möglich. Man kann allerdings auch



Fig. 117. Bilder eines abgestumpften Kegels für stereoskopisches Sehen. Links das Bild des linken, rechts das Bild des rechten Auges.

bei monokularem Sehen Entfernungen abschätzen nach der Größe des Gesichtswinkels, unter dem man Gegenstände von bekannter Größe erblickt (Gesichtswinkel = Winkel, den die von zwei Punkten außerhalb des Auges ausgehenden Strahlen im Knotenpunkt des Auges miteinander bilden). Vielleicht ist auch die Stärke der Akkommodationsanstrengung bei monokularem Sehen ein Faktor für die Distanzbeurteilung. Ein vollkommenes Körpersehen aber entspringt erst aus dem binokularen Sehen und zwar einerseits aus dem Grade der Konvergenz beider Augen und andererseits aus der Verschiedenheit beider Netzhautbilder. Obwohl wir von jedem Objekt mit dem Auge je ein verschiedenes Bild erhalten, sehen wir die Objekte trotz des binokularen Sehens doch einfach. Das beruht auf einer Gewohnheit. Wir haben uns gewöhnt, die Punkte beider Netzhäute, die bei einer gegebenen Konvergenzstellung der Augen von ein und demselben Objektpunkte her erregt werden, einfach zu sehen. Diese Punktpaare bezeichnet man als korrespondierende oder identische Netzhautpunkte. Daß wir tatsächlich nur durch Gewohnheit die Erregung korrespondierender Netzhautpunkte einfach wahrnehmen, zeigt sich am deutlichsten nach Schieloperationen, wo infolge der veränderten Stellung der Augenachsen die Lage der identischen Netzhautpunkte eine andere geworden ist als vor der Operation. Die operierten Patienten sehen daher anfangs alle Objekte doppelt und erst

allmählich, in dem Maße, wie sie sich an die neuen identischen Netzhautpunkte, d. h. an die neue Stellung der Augenachsen gewöhnen, lernen sie wieder einfach sehen. Gibt man ferner bei normalem Sehen durch seitlichen Druck auf den einen Augenbulbus der einen Augenachse eine veränderte Stellung, so tritt bei Fixierung eines Objektes sofort Doppelsehen auf, weil die von einem gegebenen Punkte ausgehenden Strahlen bei dieser Augenstellung nicht mehr identische Netzhautpunkte treffen. Das Körpersehen beruht nun zum wesentlichen Teil darauf, daß die von einem körperlichen Objekt ausgehenden Strahlen bei Fixation desselben zum Teil identische Netzhautpunkte, zum Teil aber nicht identische Netzhautpunkte treffen. Die ersteren werden einfach gesehen. Die letzteren erzeugen, wenn sie weit von identischen Netzhautpunkten entfernt gelegene Punkte treffen, Doppelbilder, die wir aber aus Gewohnheit vollständig im Bewußtsein vernachlässigen. Wenn die Objektstrahlen dagegen nahe bei identischen Netzhautpunkten gelegene Punkte treffen, so erzeugen sie noch einfache Bilder, die wir aber in andere Tiefen verlegen als die sämtlichen Punkte der Fixationsebene, die ja identische Netzhautpunkte erregen. Infolgedessen ist es möglich, auch aus zwei flächenhaften Bildern eines Objektes, die den beiden Bildern je eines Auges entsprechen, den Eindruck der Körperlichkeit zu erhalten, wenn man es einrichtet, daß die beiden Bilder einfach gesehen werden. Das gelingt schon ohne jedes Hilfsmittel, wenn man die in der Entfernung des gegenseitigen Augenabstandes voneinander auf Papier gezeichneten Bilder (z. B. eines abgestumpften Kegels wie in Fig. 117) so ansieht, daß 1. die Augenachsen für die unendliche Ferne, d. h. parallel eingestellt sind und daß trotzdem 2. für die Ebene des Papiers akkommodiert wird. Um diese beiden Bedingungen gleichzeitig realisieren zu können, braucht man einige Übung, da man gewöhnt ist, wenn man die Augenachsen parallel, d. h. für die Ferne einstellt, auch keine Akkommodationsanstrengung zu machen. Viel leichter gelingt es dagegen, die beiden Bilder zu vereinigen mittels der Stereoskope. Das WHEATSTONEsche Stereoskop erreicht diesen Zweck auf katoptrischem Wege durch Spiegel (siehe unten Fig. 123), das BREWSTERsche Stereoskop auf dioptrischem Wege durch Prismen (siehe unten Fig. 124).

c) Farbensehen. Zur Erklärung der Farbenempfindungen nimmt die YOUNG-HELMHOLTZsche Theorie an, daß in der Netzhaut drei verschiedene Arten von Elementen vorhanden sind, von denen die einen in besonderem Maße auf Rot, die anderen auf Grün, die dritten auf Blau reagieren. Die HELMHOLTZsche Theorie vermag indessen eine Reihe von Tatsachen nicht zu erklären. Als brauchbarer hat sich die HERINGsche Theorie erwiesen, die ebenfalls drei Arten von Elementen in der Netzhaut annimmt, aber derart, daß jedes Element, je nachdem seine assimilatorische oder seine dissimilatorische Stoffwechselphase von den Lichtstrahlen erregt wird, zwei antagonistische Farbenempfindungen vermitteln kann, so daß die eine Art von Elementen Rot—Grün, die andere Gelb—Blau und die dritte Schwarz—Weiß liefert. Von den Spektralfarben sind also nur Rot, Gelb, Grün, Blau im physiologischen Sinne einfache Farben, Orange und Violett dagegen Mischfarben. In der Tat kann man Orange aus Rot und Gelb, Violett aus Rot und Blau durch Farbenmischung im Farbenkreisel synthetisch herstellen. Antagonistische oder Komplementärfarben liefern bei der Mischung keine Mischfarbe.

Wirken zwei antagonistische Farben im Farbenkreisel gleichzeitig ein, dann heben sie sich auf. Wird durch eine Farbenart die eine Stoffwechselphase der betreffenden Netzhautelemente einige Zeit allein erregt, so tritt nach dem Aufhören der Einwirkung infolge der Selbststeuerung des Stoffwechsels (siehe oben p. 21) die antagonistische oder Komplementärfarbe im Gesichtsfelde auf („sukzessiver Kontrast" oder „negative Nachbilder"). Wird das ganze Gesichtsfeld von einfarbigem Lichte erregt und bleibt nur ein kleiner Ausschnitt in farblosem Grau, so erscheint der graue Ausschnitt in der Komplementärfarbe des farbigen Gesichtsfeldes („simultaner Kontrast"). Bei der Farbenblindheit fehlt fast ausnahmslos die Wahrnehmungsfähigkeit für zwei Komplementärfarben, in der Regel für Rot und Grün (Rotgrünblindheit), selten für Gelb und Blau (Gelbblaublindheit).

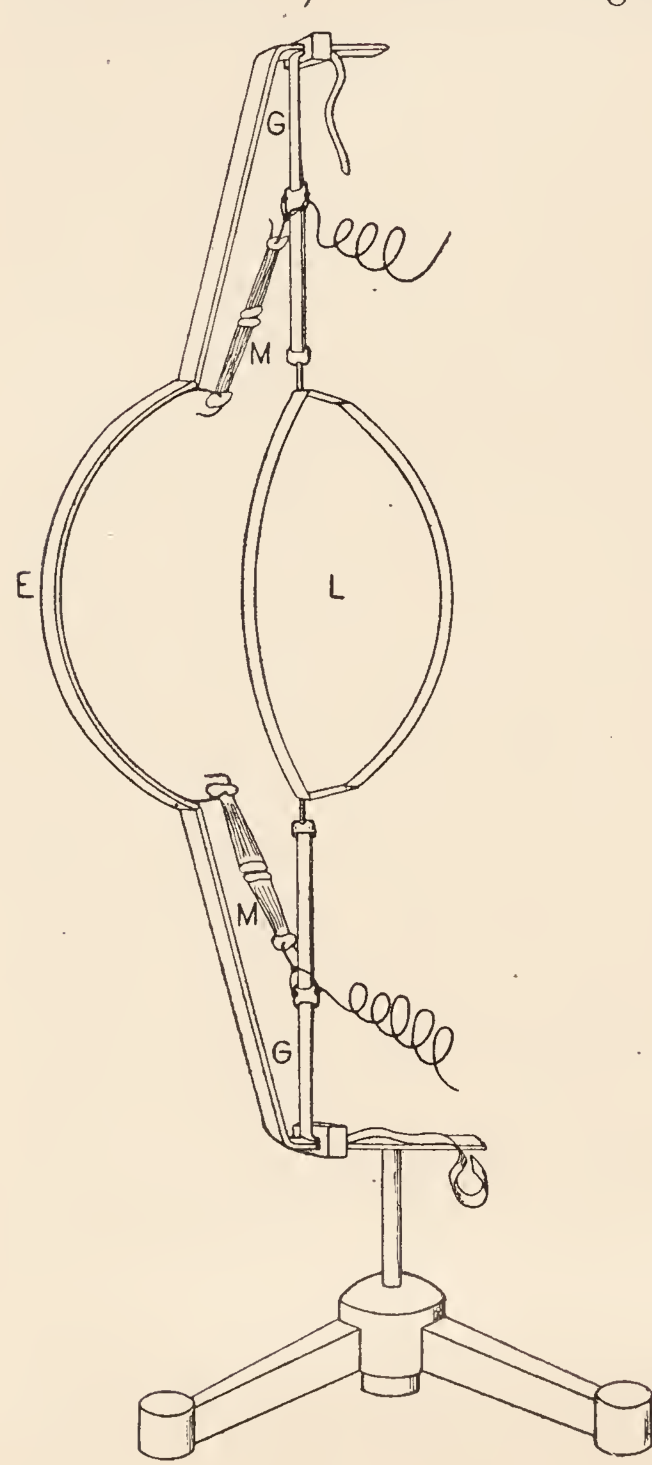


Fig. 118. Modell für den Akkommodationsakt. *E* fester Eisenbügel, *L* Linsenmodell, *G* Gummiband, *M* Muskelpräparat.

Modell für den Akkommodationsakt. Auf einem Stativ befindet sich ein fester, dicker Eisenbügel (Fig. 118 *E*), dessen mittlerer Teil die Krümmung der Cornea nachahmt. An seinem oberen und unteren Ende ist durch je ein eingeklemmtes, straff gezogenes Gummiband (*G*) ein aus federnden Stahlblechstreifen hergestelltes Modell des Linsenquerschnittes (*L*) in gespanntem Zustande befestigt. Man stellt nun von zwei kräftigen Fröschen, nachdem dieselben getötet und abgehäutet sind, je ein Präparat der Oberschenkelmuskeln her in der Weise, daß man bei jedem Frosch die Muskeln der beiden Oberschenkel vom Knie her bis zum Becken hinauf vom Femur lospräpariert, aber am Becken unter Resektion des betreffenden Beckenstückes im Zusammenhang läßt. Dann befestigt man die beiden Präparate, das eine oben, das andere unten am Augenmodell, und zwar so, daß der eine Knieansatz eines jeden Präparates an einem Haken des starren Eisenbügels, der andere an einem Haken des Gummistreifens angreift. Die beiden Befestigungsstellen am Gummistreifen stehen in Verbindung mit den Drähten der sekundären Spirale eines Schlitteninduktoriums (siehe letztes Kapitel), so daß der Strom von diesen Befestigungsstellen durch die Muskelpräparate und den Eisen-

bügel gehen und dabei die beiden Muskelpräparate zur Kontraktion bringen muß. Werden die Muskeln tetanisiert, so wirken sie durch ihre Kontraktion wie die Akkommodationsmuskeln, so daß sie die Gummibänder, die als Zonula Zinnii fungieren und auf das Linsenmodell einen Zug ausüben, an die Linse heranziehen. Infolgedessen läßt ihr Zug auf das federnde Linsenmodell nach und die vordere Linsenfläche nimmt eine stärkere Krümmung an.

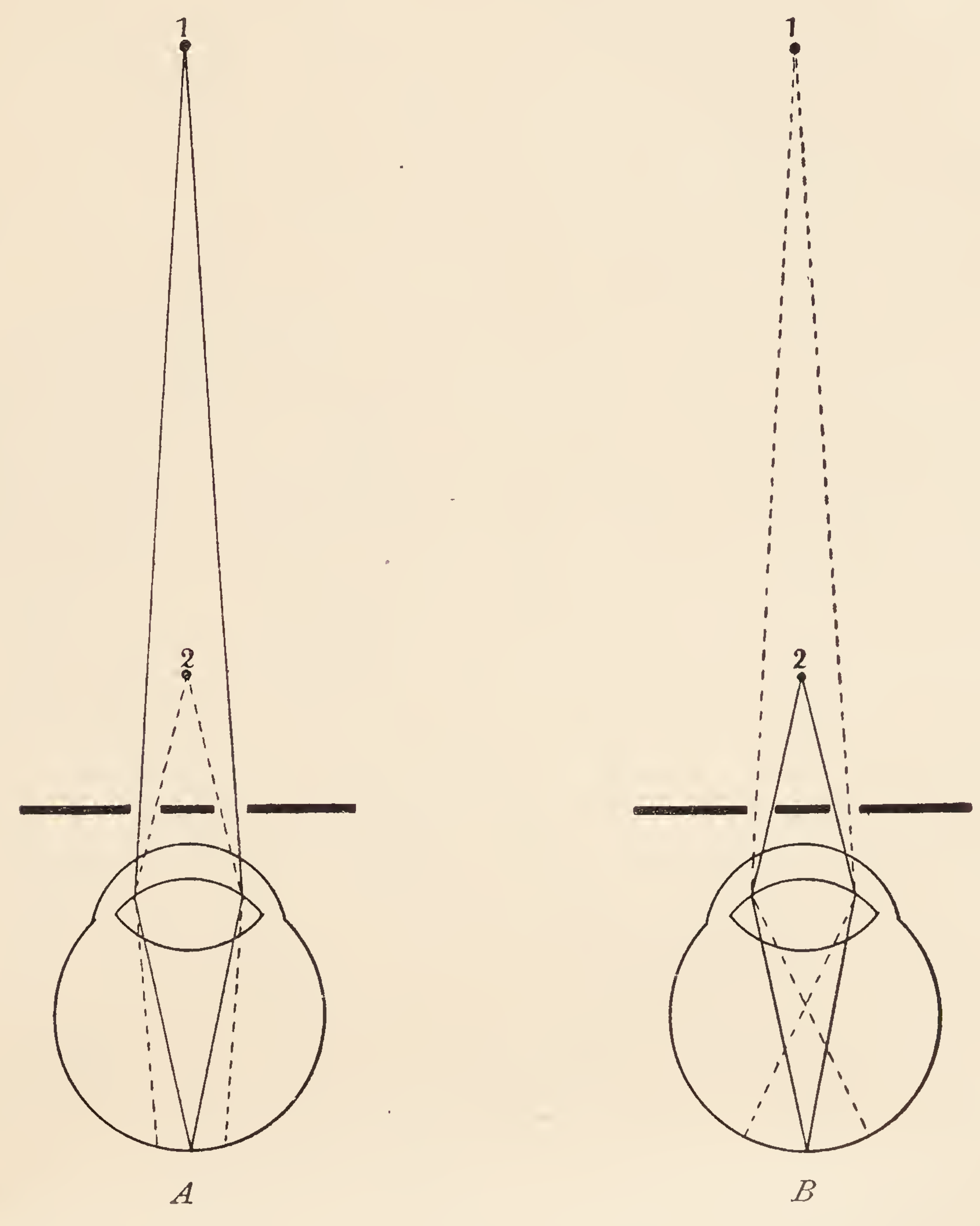


Fig. 119. Schema zu Pater SCHEINERS Versuch. Die ausgezogenen Linien geben den Gang der von der fixierten, die punktierten Linien den Gang der von der nicht fixierten Nadel ausgehenden Strahlen an.

Pater Scheinerscher Versuch. An den Enden eines etwa meterlangen Lineals befindet sich einerseits eine auf der Kante befestigte Nadel, andererseits eine auf einem Schieber verschiebbare gleichartige Nadel. Dieses Lineal hält man mit der linken Hand in der Verlängerung der Sehachse vor das rechte Auge und betrachtet die Nadeln durch ein mit der rechten Hand zwischen Auge und Lineal dicht vor das Auge gehaltenes Kartenblatt, das von zwei in einer Entfernung von 3 mm voneinander angebrachten Nadelstichen durchbohrt ist. Das linke Auge wird währenddessen geschlossen.

Fixiert man nun zunächst die vom Auge entferntere Nadel *1* des Lineals (vgl. die schematische Darstellung auf Fig. 119 *A*), so erscheint die näher gelegene Nadel *2* doppelt, weil die von ihr ausgehenden Strahlen, aus denen durch die Löcher des Kartenblattes zwei Bündel

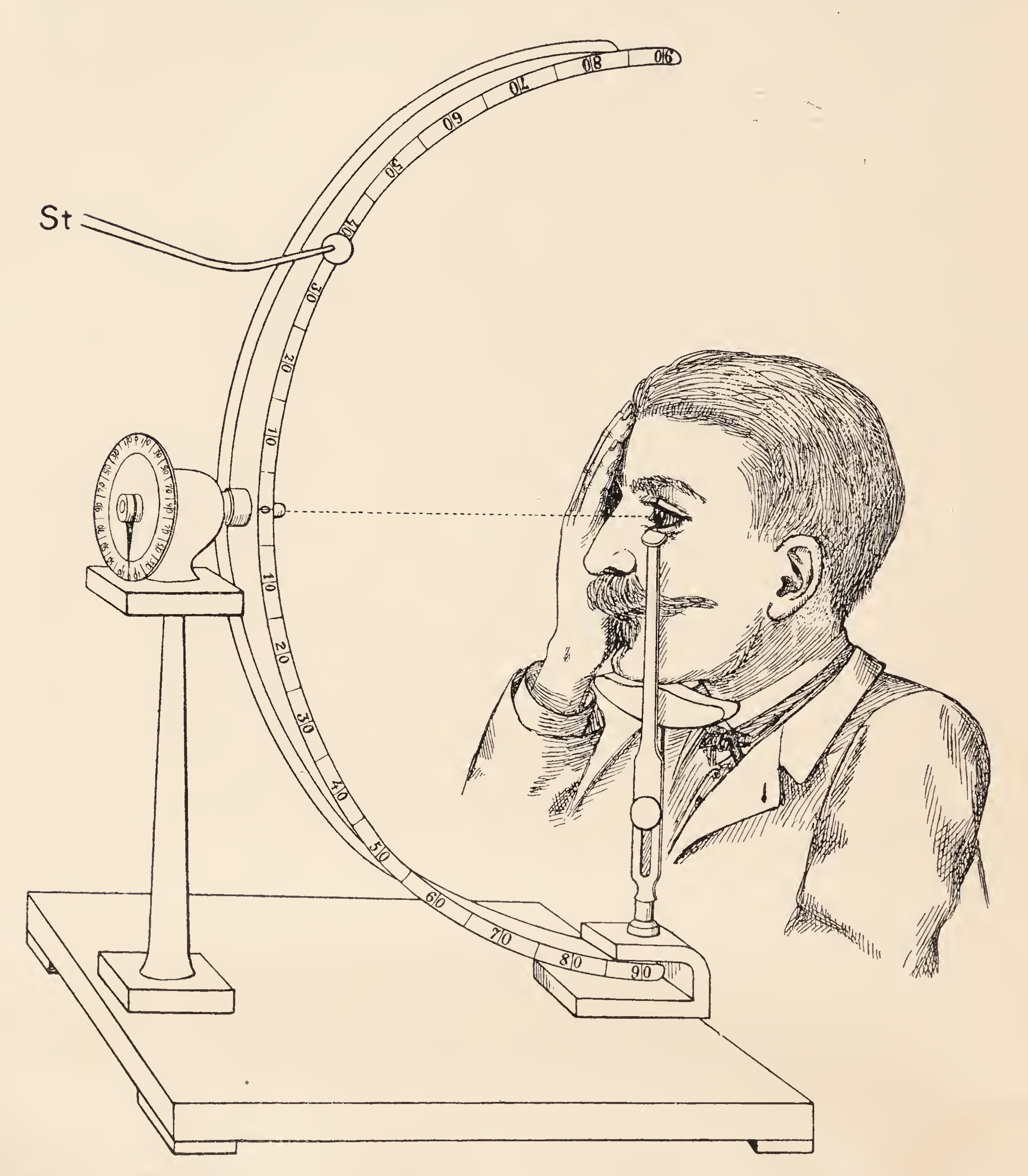


Fig. 120. Perimetrische Ausmessung des Gesichtsfeldes. *St* Stäbchenende mit Knopf.

herausgeschnitten werden, sich bei diesem Akkomodationsgrade des Auges erst hinter der Netzhaut vereinigen. Fixiert man sodann die dem Auge näher gelegene Nadel *2* (vgl. Fig. 119 *B*), so erscheint bei diesem Akkommodationszustande die entferntere Nadel doppelt, weil sich die von ihr ausgehenden Strahlen schon vor der Netzhaut vereinigen. So dient der Pater SCHEINERsche Versuch dazu, den

verschiedenen Refraktionszustand der Linse bei verschiedener Akkommodationsanstrengung zu demonstrieren.

Perimetrische Ausmessung des Gesichtsfeldumfanges. Zur Ausmessung des Gesichtsfeldumfanges dient das Perimeter (Fig. 120). Dieser Apparat besteht aus einem in vertikaler Richtung verstellbaren Kinnhalter und einem um eine horizontale Achse drehbaren halbkreisförmigen Bügel, dessen Seiten umgebogen und mit einer nach beiden Seiten hin gehenden Winkelskala versehen sind. Man läßt die zu untersuchende Person ihren Kopf auf den Kinnhalter stützen und stellt die Kinnstütze so ein, daß der Augenbulbus gerade den Rand des über der Kinnstütze befindlichen Elfenbeinplättchens berührt. Dann läßt man den weißen Fleck in der Mitte des Perimeterbügels fixieren. Die Sehachse ist dann gerade horizontal. Während die Versuchsperson den weißen Fleck ununterbrochen fixiert und das andere Auge mit der Hand geschlossen hält, führt man bei senkrecht stehendem Perimeterbügel einen dünnen Stab, der einen weißen Knopf an seinem Ende trägt, vom o-Punkt des Bügels her nach oben unter fortwährenden kurzen Vorwärts- und Rückwärtsbewegungen mit seinem Knopf am Bügel entlang zur Peripherie hin, bis die Versuchsperson angibt, daß er aus ihrem Gesichtsfelde verschwindet. Man liest den Skalenteil ab, an dem der Knopf aus dem Gesichtsfelde verschwindet, prüft noch mehrmals, ob immer die gleiche Stelle angegeben wird, anderenfalls nimmt man den Mittelwert und trägt denselben auf dem Gesichtsfeldschema für das rechte resp. linke Auge ein (Fig. 121). Darauf sucht man bei derselben Bügelstellung die Grenze des Gesichtsfeldes nach unten auf, indem man in derselben Weise auf dem unteren Teil des Bügels verfährt. Hat man die Messung in vertikaler Richtung gemacht, so dreht man den Bügel um 90^0 und führt die Messung in horizontaler Richtung aus. Darauf stellt man die Grenze des Gesichtsfeldes in den zwischenliegenden Stellungen des Bügels fest, wobei man an der hinter dem Bügel befindlichen Scheibe mit Zeiger immer genau die Winkelzahlen prüft. Die gefundenen Werte trägt man stets in das Gesichtsfeldschema für das betreffende Auge ein. Schließlich verbindet man in dem Schema die gewonnenen Punkte durch Linien und erhält auf diese Weise einen Umriß von der Gestalt des Gesichtsfeldes. Dabei zeigt sich, daß das Gesichtsfeld nach der nasalen Seite hin sich viel weniger weit ausdehnt als nach der lateralen. Ebenso kann das Gesichtsfeld des anderen Auges bestimmt werden. Auch für verschiedene Farben kann der Umfang des Gesichtsfeldes ermittelt werden, indem man an dem zur Grenzbestimmung benutzten Stäbchen einen roten, grünen, gelben oder blauen Knopf anbringt. Man findet dabei, daß nach der Peripherie hin im Gesichts-

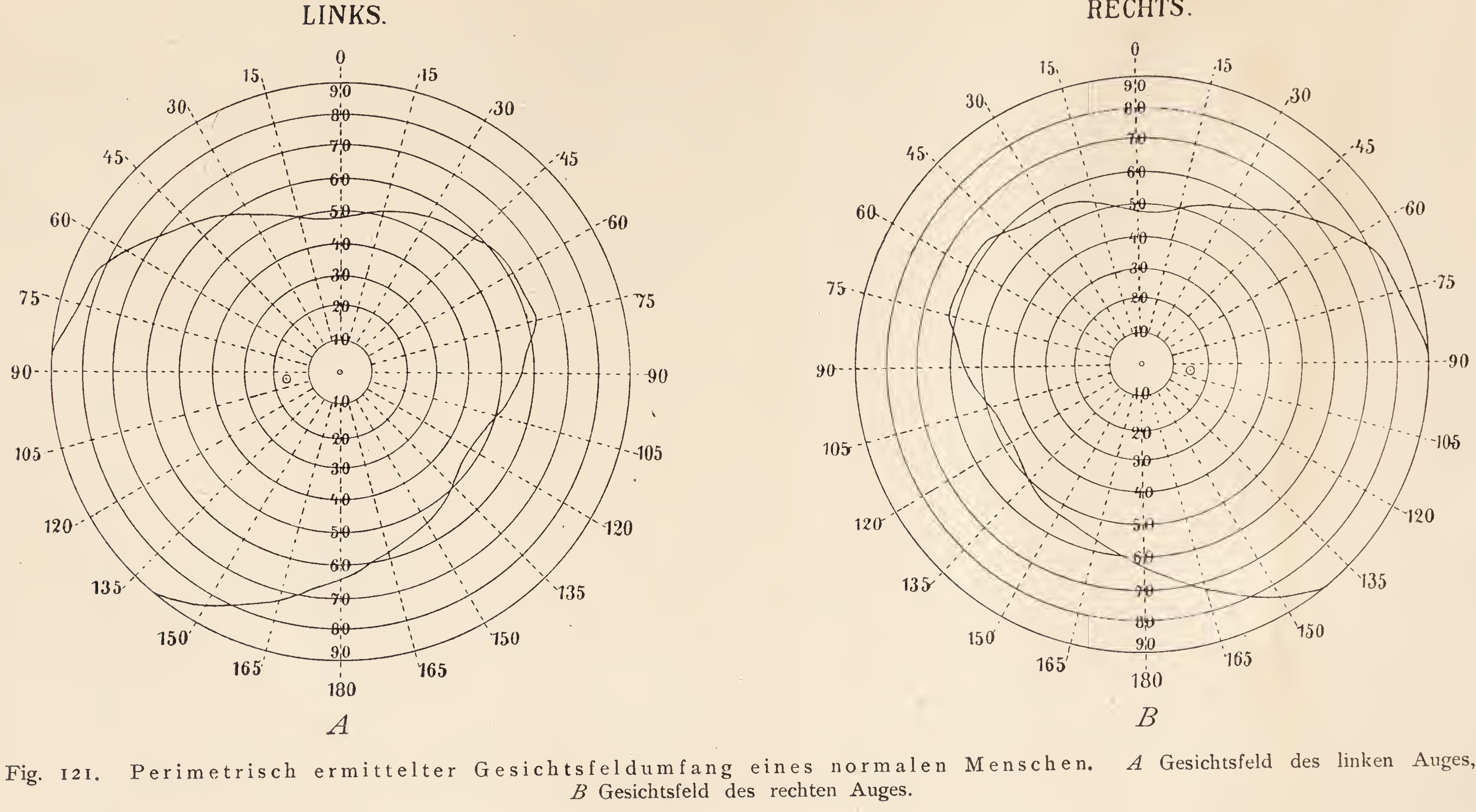


Fig. 121. Perimetrisch ermittelter Gesichtsfeldumfang eines normalen Menschen. *A* Gesichtsfeld des linken Auges, *B* Gesichtsfeld des rechten Auges.

felde zuerst die Rot-Grün-Empfindung, dann schließlich auch die Gelb-Blau-Empfindung verschwindet, so daß am äußersten Teile der Peripherie der Knopf nur noch farblos erscheint.

Mariottes blinder Fleck. Auf einem schwarzen Kartonblatt befindet sich in der in Fig. 122 vorgezeichneten Weise ein weißes Kreuz und in dem angegebenen Abstande ein runder weißer Fleck. Man schließt das linke Auge und hält zunächst das Kartonblatt in einer Entfernung von 15 cm vor das rechte Auge, so daß das Kreuz nach links, der runde Fleck nach rechts gerichtet ist. Dann fixiert man scharf und ohne Ablenkung des Auges das Kreuz. Man nimmt zunächst Kreuz und Fleck im Gesichtsfelde wahr. Dann entfernt man allmählich das Kartonblatt etwas weiter vom Auge stets unter strenger Fixierung des Kreuzes. Bei einer Entfernung von etwa 25 cm

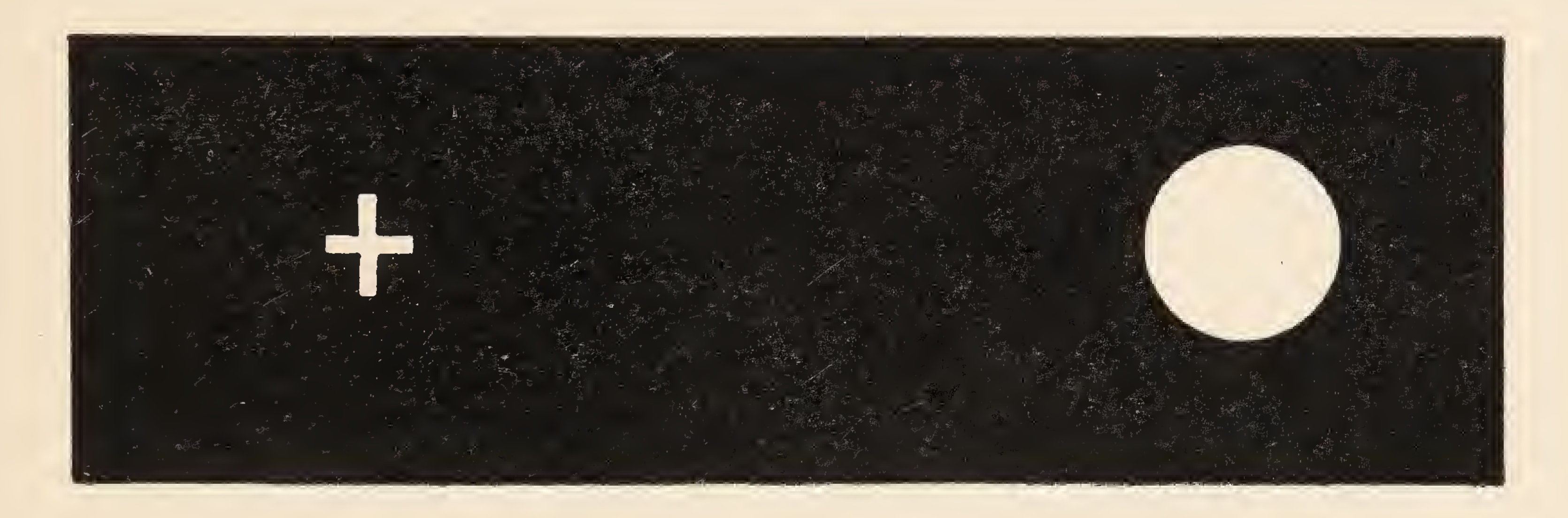


Fig. 122. Anordnung zum Nachweis von MARIOTTEs blindem Fleck.

verschwindet plötzlich der runde Fleck aus dem Gesichtsfelde und das Kartonblatt erscheint rechts vom Kreuz gleichmäßig schwarz. Entfernt man das Kartonblatt noch einige Zentimeter weiter, so erscheint ebenso plötzlich der Fleck wieder im Gesichtsfelde. Der weiße Fleck ist bei einer Entfernung von 25 cm unsichtbar, weil bei dieser Entfernung gerade die von ihm ausgehenden Strahlen auf die Eintrittsstelle des Sehnerven fallen, die für Lichtstrahlen unempfindlich ist. Hält man das Kartonblatt näher an das Auge oder weiter vom Auge fort, so fallen die Strahlen des weißen Fleckes nicht mehr auf die Opticuseintrittsstelle, sondern auf benachbarte Teile der Netzhaut und werden wahrgenommen.

Wheatstones katoptrisches Stereoskop. Betrachtet man irgend einen körperlichen Gegenstand mit beiden Augen, so liefert jedes Auge ein verschiedenes Bild (siehe p. 224, Fig. 117). In beiden Bildern sind gewisse Punkte gleich, andere verschieden. Die ersteren werden beim binokularen Sehen in die Fixationsebene, die letzteren

vor oder hinter dieselbe verlegt. Zeichnet man das Bild, das jedes der beiden Augen liefert, für sich auf ein Papier, so kann man die beiden Bilder zu einem einheitlichen Bilde verschmelzen, indem man sie durch Spiegelung in die Blickrichtung projiziert, so daß sie beide an demselben Punkte zu liegen scheinen (Fig. 123). Das ist das Prinzip des WHEATSTONEschen Stereoskops. Dasselbe besteht aus zwei unter rechtem Winkel aufeinanderstoßenden Spiegeln *Sp*, denen gegenüber die beiden Bilder *O*, *O* so aufgestellt werden, daß das dem rechten Auge entsprechende Bild im rechten, das dem linken entsprechende im linken Spiegel in aufrechter Stellung sichtbar ist. Nähert man nun das Gesicht der rechtwinkeligen Kante der beiden Spiegel so weit,

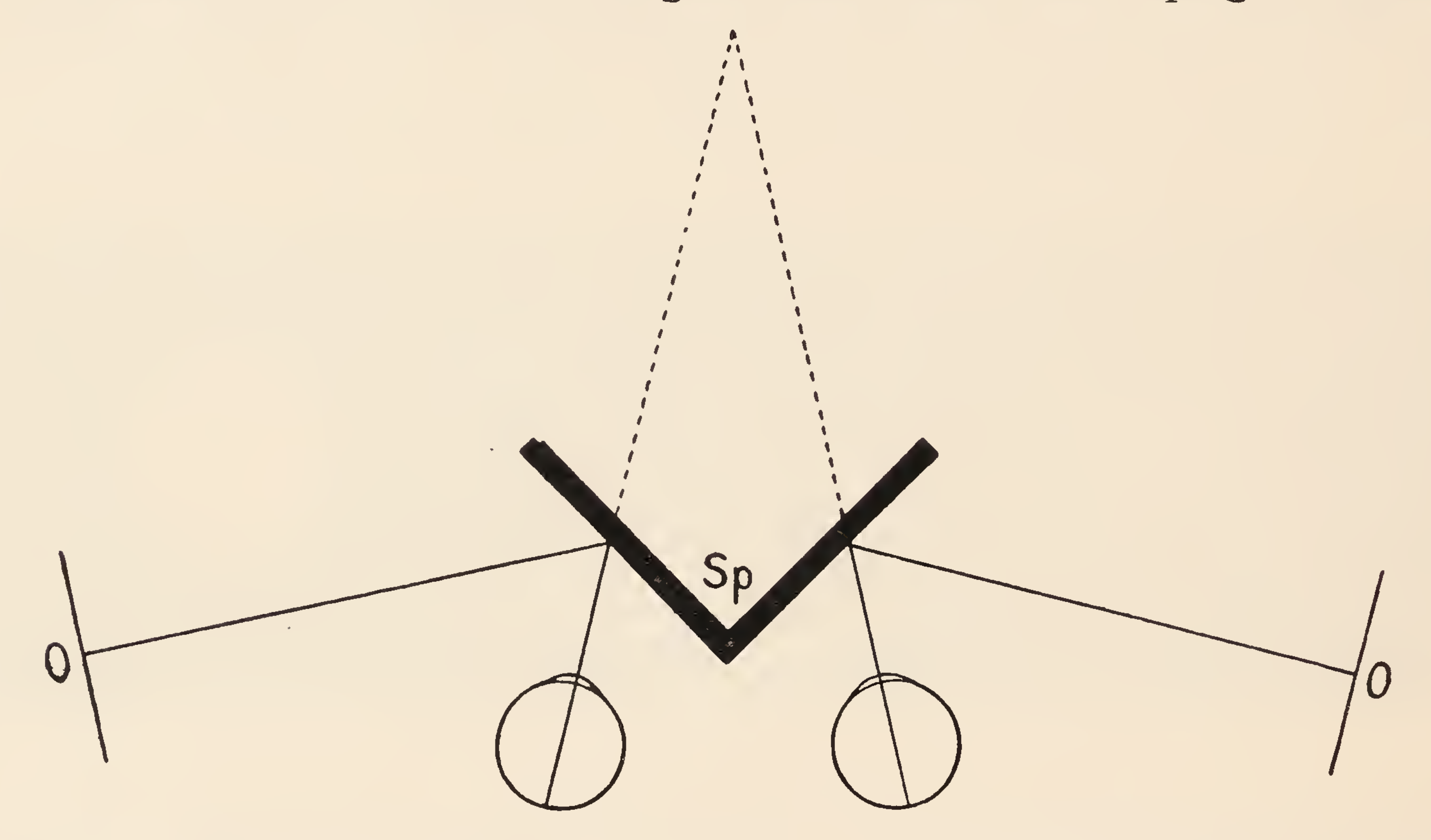


Fig. 123. WHEATSTONEsches Stereoskop. *O*, *O* die beiden flächenhaften Objektbilder, *Sp* Spiegel.

daß man mit dem rechten Auge das rechte, mit dem linken Auge das linke Spiegelbild sieht, so verlegt man bei der Konvergenzstellung der beiden Augen die Bilder an den Punkt, wo die beiden Sehachsen sich schneiden, und vereinigt sie dort. Da aber nur bestimmte Punkte von beiden Bildern identisch sind, andere nicht, so verlegt man die letzteren in andere Tiefendimensionen als die ersteren, d. h. man gewinnt ein körperliches, plastisches Bild.

Brewsters dioptrisches Stereoskop. Beim BREWSTERschen Stereoskop, der heute am meisten verbreiteten und zur Unterhaltung verwendeten Form der Stereoskope, wird der gleiche Zweck der Vereinigung beider Bilder durch Brechung der von ihnen ausgehenden Strahlen mittels zweier Prismen erreicht. Die beiden Prismen, die sich vor den Augen des Beobachters befinden, brechen die Strahlen so, daß sie von einem Punkte zu kommen scheinen, der im Schnittpunkt der beiden konvergierenden Sehachsen gelegen ist. Dorthin

verlegt man das Bild eines jeden Auges, so daß sich die beiden Bilder decken. Die identischen Punkte beider Bilder erscheinen dabei wieder in gleichen, die nicht identischen in anderen Tiefendimensionen, so daß das Bild körperlich auftritt.

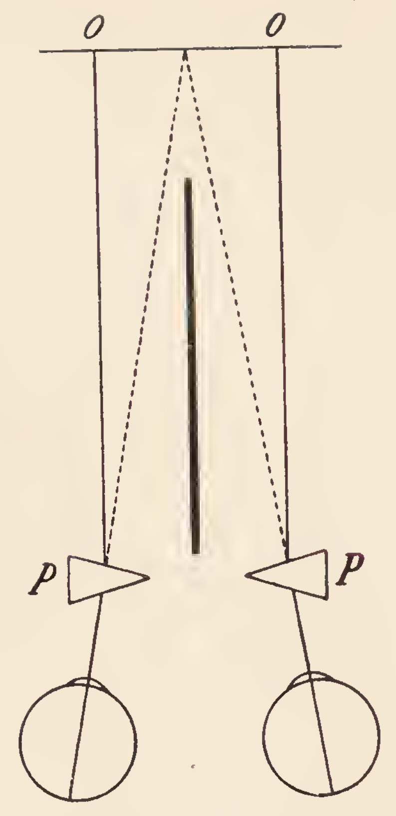


Fig. 124. Brewstersches Stereoskop. *O*, *O* Objektpunkte, *P*, *P* Prismen.

Farbenmischung mittels des Farbenkreisels. Der Mischung von Farben mittels des Farbenkreisels liegt die Tatsache zugrunde, daß die Erregung, die ein plötzlicher Lichtreiz hervorruft, nicht ebenso plötzlich im Moment, in dem der Reiz aufhört, abklingt, sondern eine kurze Nachwirkung zeigt. Diese Tatsache der „positiven Nachbilder" ist ja bekannt aus der alten Beobachtung, daß wenn man im Dunkeln ein glimmendes Holz mit dem Arme im Kreise dreht, nicht eine Anzahl glimmender Punkte, sondern ein zusammenhängender leuchtender Kreis sichtbar wird. Der Farbenkreisel bewirkt nun in analoger Weise durch schnelle Rotation einer Scheibe, daß ein farbiger Sektor der Scheibe als zusammenhängende Farbenscheibe erscheint. Bringt man daher zwei farbige Sektoren auf der Scheibe an, oder besser, gibt man den zwei Hälften der Scheibe verschiedene Farben, so kann man die beiden Farben durch schnelle Rotation der Scheibe gleichzeitig auf das Gesichtsfeld einwirken lassen und erhält so eine Mischung der Farben. Der Farbenkreisel besteht aus einem festen Eisengestell, an dem sich ein mit einer Kurbel drehbares Schwungrad befindet, das mittels seines Schwungriemens die kleine Metallscheibe in schnelle Rotation versetzt. Auf der Achse der Metallscheibe können mittels einer Schraubenmutter farbige Papierscheiben, die durch einen radiären Schnitt vom Rande her bis zum mittleren, auf die Achse zu setzenden

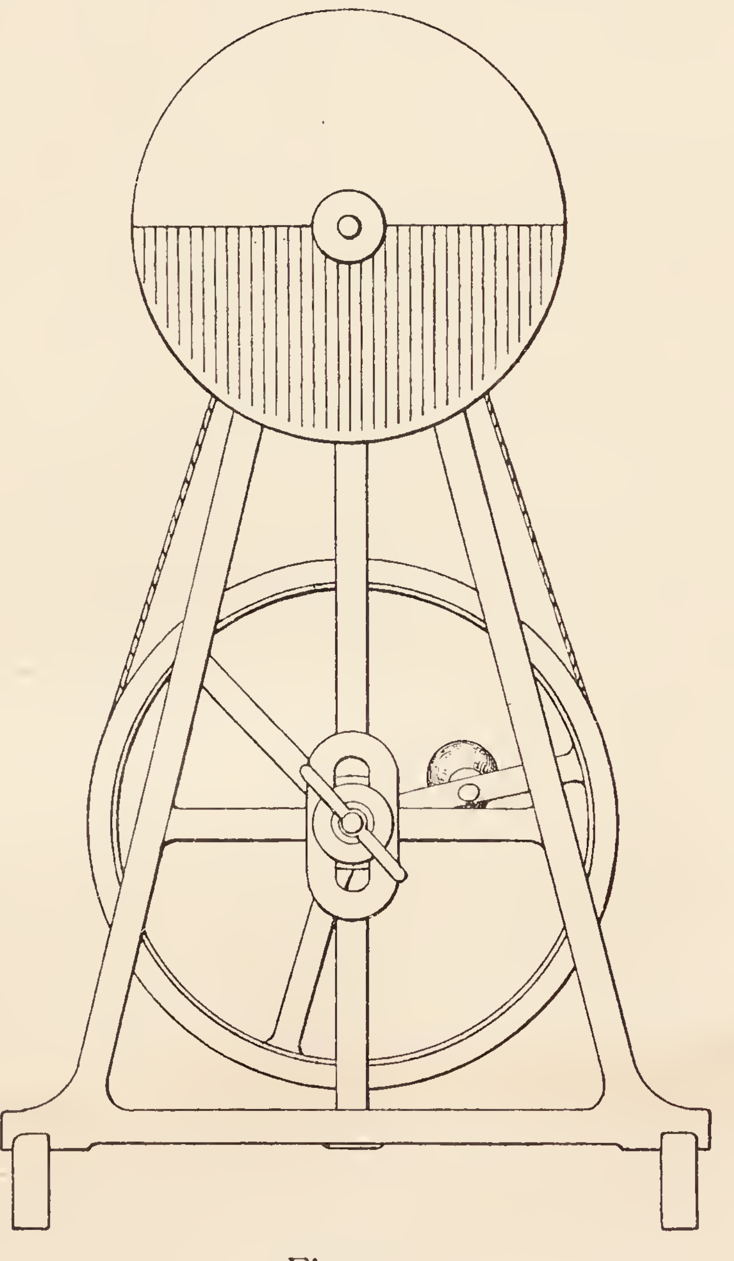


Fig 125. Farbenkreisel, von vorn gesehen.

Kreisloch hin gespalten sind, zur Hälfte übereinandergeschoben und befestigt werden (Fig. 125). Bringt man auf der Scheibe zwei aus möglichst reinen Komplementärfarben bestehende Papierscheiben von annähernd gleicher Helligkeit so an, daß jede Farbenscheibe zur Hälfte sichtbar ist (z. B. auf Fig. 125 oben Grün, unten Rot), so sieht man, daß bei schneller Rotation beide Farben verschwinden und statt dessen ein farbloses Grau die Scheibe gleichmäßig erfüllt. Mischt man dagegen auf dieselbe Weise zwei Farben, die nicht Komplementärfarben sind, z. B. Rot und Blau oder Rot und Gelb, so erhält man eine gleichmäßige Mischfarbe, und zwar im ersteren Falle Violett, im letzteren Orange. Der Farbenkreisel bietet Gelegenheit zu einer großen Fülle von farbenphysiologischen Experimenten.

Negative Nachbilder (sukzessiver Kontrast). Hat man ein Kartonblatt von farblosem Grau, auf dem aus reinem, grellem, einfarbigem Papier eine beliebige Figur (Kreis, Viereck, Gesicht, Mensch, Tier usw.) aufgeklebt ist, und fixiert man die hellbelichtete Figur mehrere Sekunden lang scharf, so sieht man nachher beim Hinblicken auf eine farblose graue Fläche die Figur in ihrer Komplementärfarbe. Das Nachbild bleibt, besonders bei intensiver Beleuchtung der fixierten Figur und nach längerem Fixieren ziemlich lange bestehen und kehrt häufig, nachdem es schon verschwunden war, wieder zurück, bis es allmählich verblaßt. Die Versuche können in mannigfaltigster Weise variiert werden.

Farbige Schatten (simultaner Kontrast). Hat man eine von einfarbigem Licht beleuchtete Fläche und auf derselben den von dem einfarbigen Licht geworfenen Schatten irgend eines Körpers, so erscheint bei mäßiger Erhellung der ganzen Fläche durch diffuses Tageslicht der Schatten in der Komplementärfarbe der umgebenden Fläche. Man kann diese farbigen Schatten sehr leicht herstellen, wenn man in einem nicht zu hellen Zimmer auf ein weißes Blatt Papier eine Wachskerze setzt und von derselben den Schatten eines Bleistiftes auf die Papierfläche werfen läßt. Der Schatten erscheint dann intensiv blau im Kontrast gegen die von der gelblichen Flamme beleuchtete Papierfläche. Noch schönere Kontraste kann man erhalten, wenn man im Innern eines nur mäßig hellen Zimmers eine weiße Fläche von einer Lichtquelle aus durch eine monochromatische Glas- oder Celloidinplatte hindurch belichtet und gleichzeitig den Schatten eines Stabes entwirft. Dann erscheint der vom Tageslicht matt beleuchtete Schatten in intensiver Kontrastfarbe zum farbigen Licht, z. B. rot bei grüner, blau bei gelber Belichtung der Fläche. GOETHE hat bekanntlich in seiner „Farbenlehre“ derartige Experimente in größerer Zahl beschrieben.

XI. Physiologische Apparate.

Galvanische Elemente. Als Stromquellen für physiologische Zwecke dienen in erster Linie die galvanischen Elemente. Die Stromentwicklung der in der Physiologie gebräuchlichen Formen von galvanischen Elementen beruht darauf, daß Metalle, wenn sie in bestimmte Flüssigkeiten getaucht werden, Kationen (positive Ionen) in Lösung geben. Dadurch erhalten sie selbst elektrisch negative Ladung. Taucht man nun in eine Flüssigkeit ein Metall, das eine große Lösungstension hat und ein Metall, das eine geringe Lösungstension hat, gleichzeitig ein, so werden vom ersteren Kationen an die Flüssigkeit abgegeben werden, andererseits werden sich aus der Flüssigkeit wieder Kationen auf

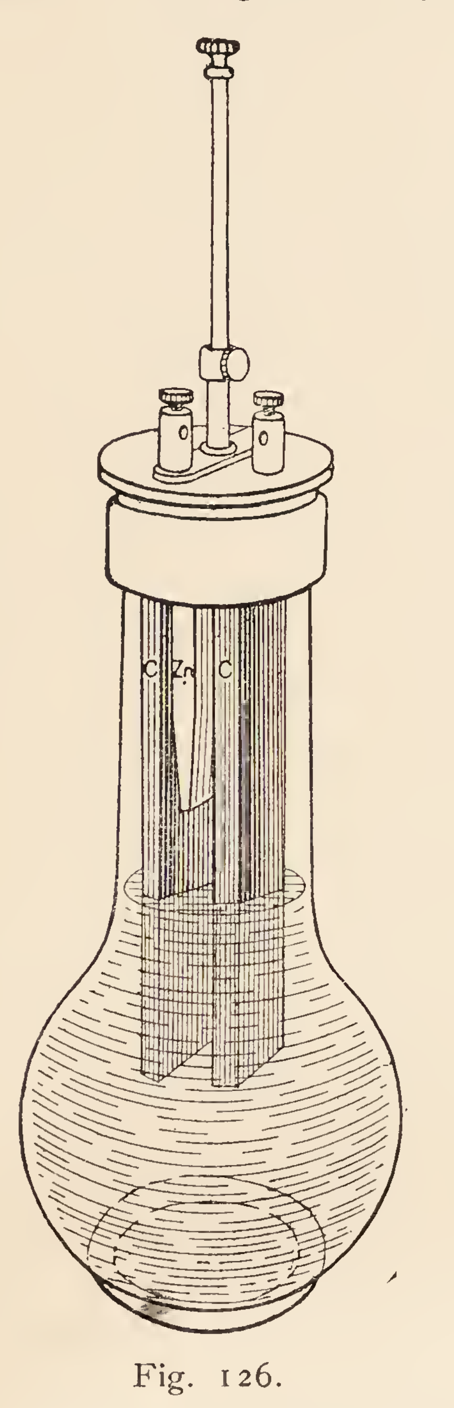


Fig. 126.

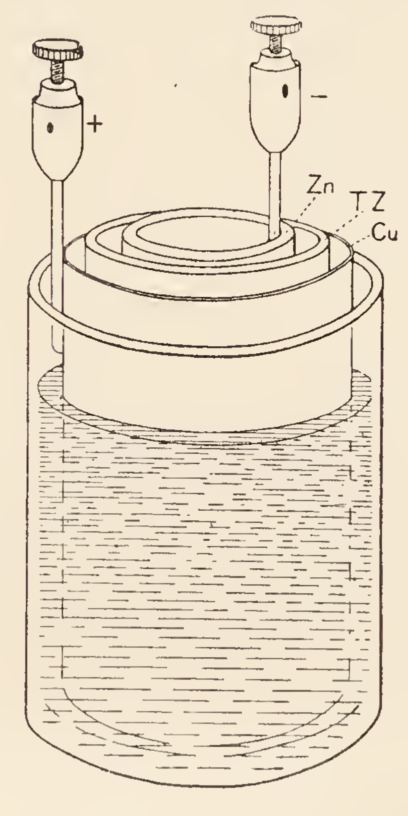


Fig. 127.

Fig 126. Chromsäuretauchelement. Zwei Kohleplatten *C*, *C* und eine Zinkplatte *Zn* tauchen in eine Chromsäurelösung. Die Zinkplatte kann herausgezogen werden. Der Kohlepol ist positiv, der Zinkpol negativ.

Fig. 127. DANIELLsches Element. Zink *Zn* taucht in verdünnte Sehwefeläure, Kupfer *Cu* in konzentrierte Kupfersulfatlösung. Beide Lösungen sind durch eine poröse Tonzelle *TZ* getrennt. Der Kupferpol ist positiv, der Zinkpol negativ.

dem letzteren anlagern und demselben eine positive Ladung geben, während das erstere negativ geladen bleibt. Verbindet man daher die beiden Metalle außerhalb der Flüssigkeit mit einem metallischen Leitungsdraht, so kann sich die so entstandene elektrische Spannung ausgleichen und es entsteht ein elektrischer Strom, der so lange dauert, wie die Ionenwanderung im Element fortbesteht. Man unter-

scheidet dabei konstante und inkonstante Elemente. Die ersteren sind so zusammengesetzt, daß der chemische Vorgang in ihnen immer in der gleichen Weise weiterläuft, bei den letzteren dagegen ändern sich die Vorgänge mit der Zeit, so, daß die Elektrizitätsproduktion nachläßt.

Physiologisch werden hauptsächlich zwei Arten von Elementen gebraucht. Von inkonstanten Elementen das Chromsäuretauchelement. Dieses Element besteht aus amalgamiertem Zink und Kohle, die in eine Lösung von Chromsäure und Schwefelsäure tauchen. Dabei ist der Zinkpol negativ, der Kohlepol positiv. Die Chromsäuretauchelemente sind zwar inkonstante Elemente, sind aber elektromotorisch sehr wirksam. Man wird sie also physiologisch überall da verwenden, wo es sich um die Anwendung etwas stärkerer Ströme handelt, wo es aber nicht darauf ankommt, längere Versuchsreihen mit immer gleicher Stromintensität auszuführen. Von konstanten Elementen ist das gebräuchlichste das DANIELLsche Element. Bei diesem Element taucht amalgamiertes Zink in verdünnte Schwefelsäure, Kupfer in konzentrierte Kupfersulfatlösung. Beide Flüssigkeiten sind durch eine poröse Tonzelle vor Vermischung geschützt. Das Kupfer ist der positive, das Zink der negative Pol des Elements. Die DANIELLschen Elemente werden physiologisch für alle Versuche benutzt, bei denen es darauf ankommt, andauernd Ströme von gleicher Stärke zu haben. Braucht man etwas stärkere Ströme, so kann man mehrere DANIELLs zu einer Batterie vereinigen, indem man sie hintereinander schaltet, d. h. indem man die ungleichnamigen Pole der einzelnen Elemente durch Drähte miteinander verbindet. Nach dem Gebrauch werden die DANIELLschen Elemente auseinander genommen, die Metalle werden abgespült, die Tonzellen ausgewaschen und in Wasser aufbewahrt. Das Zink muß von Zeit zu Zeit frisch amalgamiert werden. Dabei verfährt man in folgender Weise. In eine Abdampfschale werden einige Tropfen Quecksilber und ein wenig verdünnte Schwefelsäure getan. Dann wird das Quecksilber mittels eines Wattebausches auf der in die Schale eingetauchten Zinkplatte verrieben. Ist die Zinkplatte mit verdünnter Säure angefeuchtet, so vollzieht sich die Amalgamierung in wenigen Augenblicken beim Überwischen mit Quecksilber ganz gleichmäßig von selbst. Versäumt man es, die Platte und das Quecksilber mit verdünnter Säure anzufeuchten, so muß man sich lange quälen, um nur eine unvollkommene Amalgamierung zu erzielen.

Akkumulatoren. Eine zweite Art von Stromquellen bilden die Akkumulatoren, die auf der Erzeugung und Verwertung von Polarisationsströmen beruhen. Wenn polarisierbare Elektroden längere Zeit von einem Strom durchflossen werden, lagern sich auf ihnen elektrolytische Zersetzungsprodukte ab, die selbst wieder elektro-

motorisch wirksam sind und einen dem ursprünglichen Strom entgegengesetzten Strom liefern (Polarisationsstrom, vgl. p. 150). Solche Polarisationsströme sind die Ströme der Akkumulatoren. Ein Akkumulator besteht gewöhnlich aus fünf möglichst porösen Bleiplatten, von denen zwei als positive Platten zum einen Pol (Anode), drei als negative Platten zum anderen Pol (Kathode) miteinander verbunden sind. Die positiven Platten sind mit einer Schicht von Bleisuperoxyd PbO_2 überzogen, die negativen haben eine reine Oberfläche von porösem Blei. Die Platten stehen in einem viereckigen Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure (Fig. 128). Schließt man eine solche Kette, so wandern die SO_4^-Ionen der Schwefelsäure zu den Platten von reinem Blei und bilden hier schwefelsaures Blei $PbSO_4$, während die Wasserstoffionen zu den Bleisuperoxydplatten wandern und das Bleisuperoxyd unter Wasserabgabe zu Bleioxyd PbO reduzieren, das sich mit der anwesenden Schwefelsäure ebenfalls zu Bleisulfat verbindet. So findet sich schließlich nach der völligen Entladung des Akkumulators an beiden Plattenarten schwefelsaures Blei. Nun kann der Akkumulator wieder geladen werden, indem ein Strom in entgegengesetzter Richtung durch ihn hindurchgeschickt wird. Dabei wird das an den Kathodenplatten befindliche $PbSO_4$ durch den bei der Elektrolyse der H_2SO_4 sich an der Kathode ansammelnden Wasserstoff wieder gespalten, so daß wieder reines Blei und H_2SO_4 entsteht, während das an den Anodenplatten angehäufte $PbSO_4$ durch die sich hier ansammelnden SO_4-Ionen der zerlegten Schwefelsäure unter Wasseraufnahme wieder in Bleisuperoxyd und Schwefelsäure übergeführt wird nach der Gleichung: $PbSO_4 + SO_4 + 2H_2O = PbO_2 + 2H_2SO_4$. So ist also nach einiger Zeit des Stromdurchganges an den positiven Platten wieder ein Bleisuperoxydüberzug vorhanden, während die negativen Platten wieder eine reine Bleioberfläche haben. Der Akkumulator ist wieder geladen. Man erkennt das daran, daß an den Platten eine Gasentwicklung bemerkbar wird. Für den Ge-

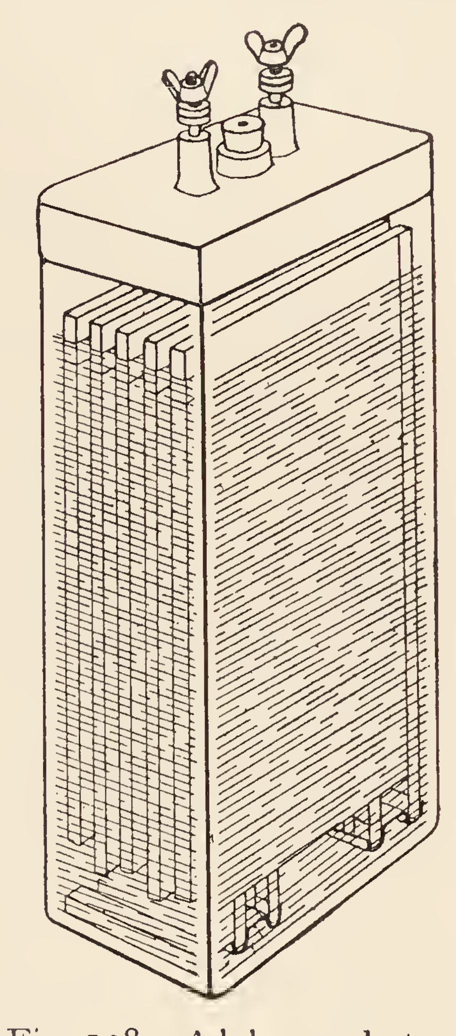


Fig. 128. Akkumulator.

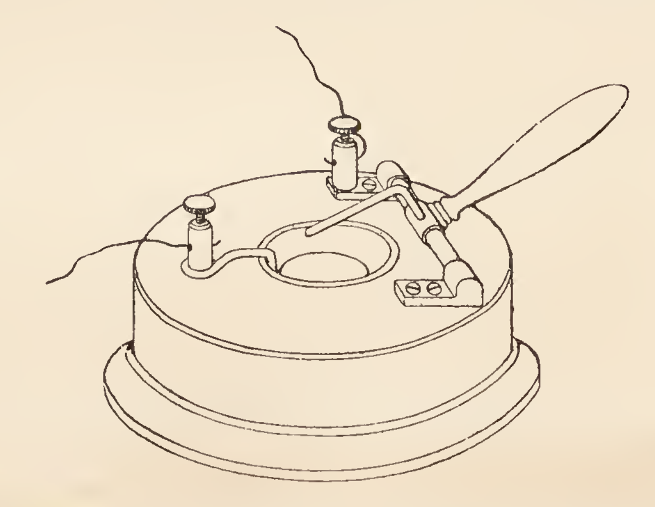


Fig. 129. Quecksilberschlüssel. Halbe Größe.

brauch der Akkumulatoren ist es wichtig, daß niemals Kurzschluß (!) durch eine metallische Leitung von geringen Widerständen hergestellt werden darf, da sonst die Akkumulatorenplatten durch die schnelle Entladung verdorben werden. Die Akkumulatoren sind also immer nur zu verwenden, wenn man größere Widerstände im Stromkreise hat und infolgedessen starker Ströme bedarf.

Quecksilberschlüssel. Um einen Stromkreis momentan und leicht schließen und öffnen zu können, schaltet man in denselben einen Quecksilberschlüssel ein. Solche Quecksilberschlüssel, die auf der Herstellung und Unterbrechung eines Quecksilberkontakts beruhen, sind in sehr verschiedenen Formen im Gebrauch. Eine sehr bequeme Form ist die folgende (Fig. 129). Auf einem kleinen runden, mit Blei ausgegossenen Messingklotz befindet sich eine isolierende Hartgummischeibe, in die ein kleines Porzellannäpfchen für die Aufnahme des Quecksilbers eingelassen ist und außerdem je eine Klemmschraube für den zu- und fortleitenden Draht. Die eine Klemmschraube sendet einen Metallbügel in den Quecksilbernapf, der dauernd in das Quecksilber eintaucht. Die andere Klemmschraube steht mit einem Metallstift in leitender Verbindung, der durch einen isolierenden Hebel in das Quecksilber eingetaucht und aus dem Quecksilber herausgehoben werden kann. Steht der Hebel hoch, so ist der Kontakt unterbrochen, der Strom geöffnet; taucht der Hebel ein, so ist der Kontakt hergestellt, der Strom geschlossen.

Platinelektroden. Für Reizversuche mit kurzdauernden Strömen, namentlich mit Induktionsströmen, bei denen die Polarisation an den

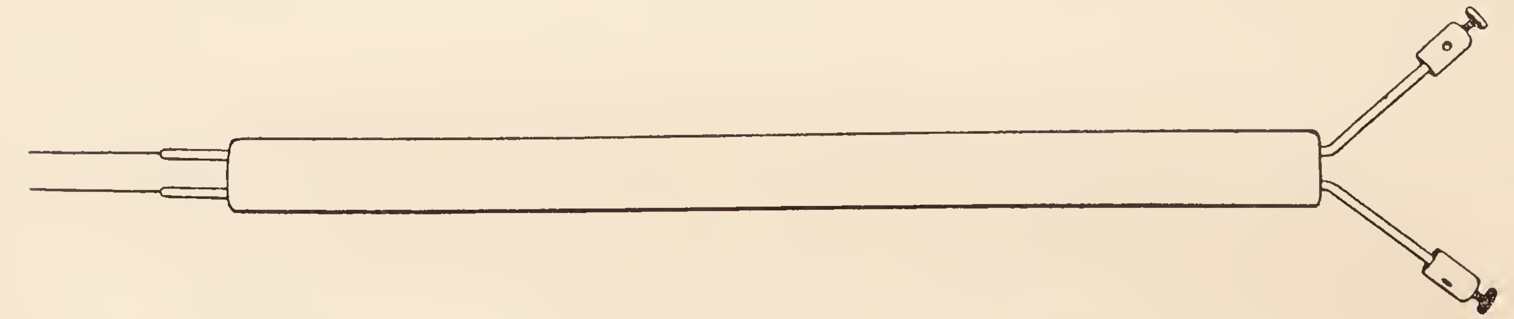


Fig. 130. Platinelektroden. $^2/_3$ der natürl. Größe.

Berührungsstellen des lebendigen Objekts mit den Elektroden nicht in Betracht kommt, verwendet man Platinelektroden etwa von folgender Form (Fig. 130). Zwei dicke Kupferdrähte sind durch einen isolierenden Kitt voneinander getrennt in eine dünne zylindrische Holzhülse fest eingekittet, so daß ihre Enden nach beiden Seiten aus der Hülse hervorragen. Das eine Ende der Drähte ist mit je einer Klemmschraube zur Aufnahme der Poldrähte versehen, das andere Ende trägt angelötet je einen kurzen Platindraht für die direkte Berührung mit

dem Präparat (Nerv, Muskel usw.). Die Elektroden können entweder mit freier Hand angelegt und gehalten oder in einem Stativ befestigt werden (vgl. Fig. 131).

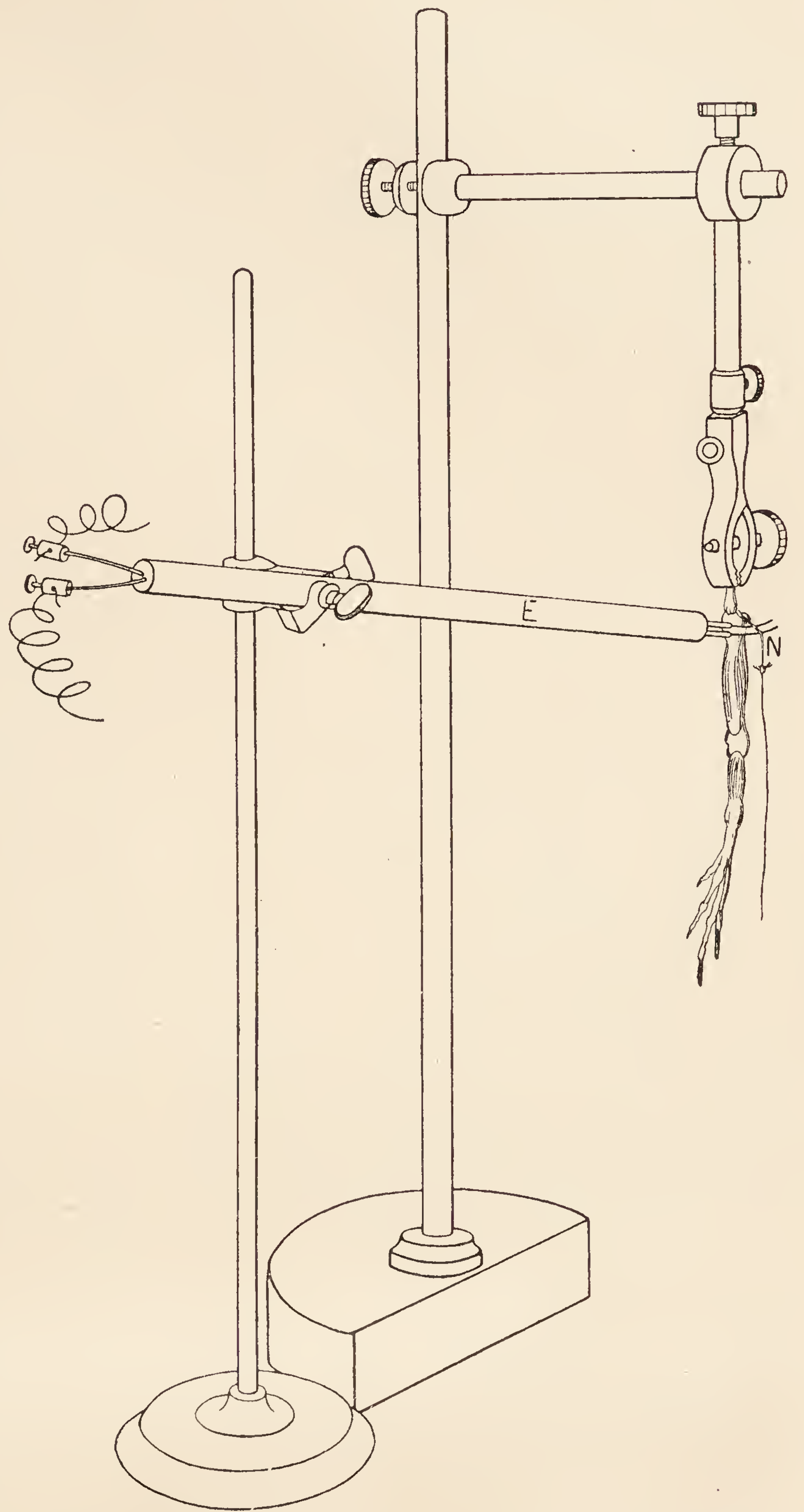


Fig. 131. Platinelektroden im Stativ für Reizung eines Nervmuskelpräparates. *E* Elektroden, *N* Nerv des Nervmuskelpräparates, das sich in einem Muskelhalter befindet.

Unpolarisierbare Elektroden. Um die Fehlerquelle, welche die Polarisationsströme bei länger dauernden Reizungen mit polarisierbaren Metallelektroden bilden, zu vermeiden, benutzt man, wo es nötig ist, sog. „unpolarisierbare" Elektroden. Die bequemste und zugleich reinlichste Form der letzteren sind die unpolarisierbaren Pinselelektroden (Fig. 132). Diese werden in folgender Weise hergestellt: Die beiden Glasröhren der Elektroden, die an ihren Enden gerade abgeschnittene, nicht glattgeschmolzene Ränder haben müssen, werden zunächst mit einem Pfropfen von plastischem Ton an einem Ende verschlossen, indem man sie durch eine etwa 3 cm große Kugel von plastischem Ton ganz geradlinig hindurchdrückt. Dabei füllt sich das Ende der Röhre mit einem ca. 2 cm langen Tonpfropfen, welcher der Glaswand glatt ohne Lufträume anliegt. Nunmehr werden die in Wasser bzw. Kochsalzlösung aufgeweichten Pinsel mit ihrem abgestutzten Ende in den Tonpfropfen der Röhre durch vorsichtig drehende Bewegung hineingebohrt, so daß sie gut feststecken. Dann

wird der offene Teil der Röhre mittels einer Tropfpipette mit einer konzentrierten $ZnSO_4$-Lösung gefüllt bis etwa 1,5 oder 2 cm vom Rande. Das muß sehr sorgfältig geschehen, damit einerseits nicht über dem Tonpfropfen Luftblasen zurückbleiben und andererseits keine Spur $ZnSO_4$-Lösung an der Außenwand der Glasröhre zum Pinsel hinabläuft. Ist letzteres bei Mangel an Vorsicht geschehen, so muß die ganze Elektrode gereinigt und noch einmal neu gemacht werden. Nachdem die Röhre gefüllt ist, wird der Pinsel noch einmal in Wasser abgespült und die Röhre im Stativ befestigt. Dann wird der amalgamierte Zinkstab hineingesteckt, der an seinem oberen Ende die Klemmschraube für den zuleitenden Draht führt. Damit ist die Elektrode gebrauchsfähig.

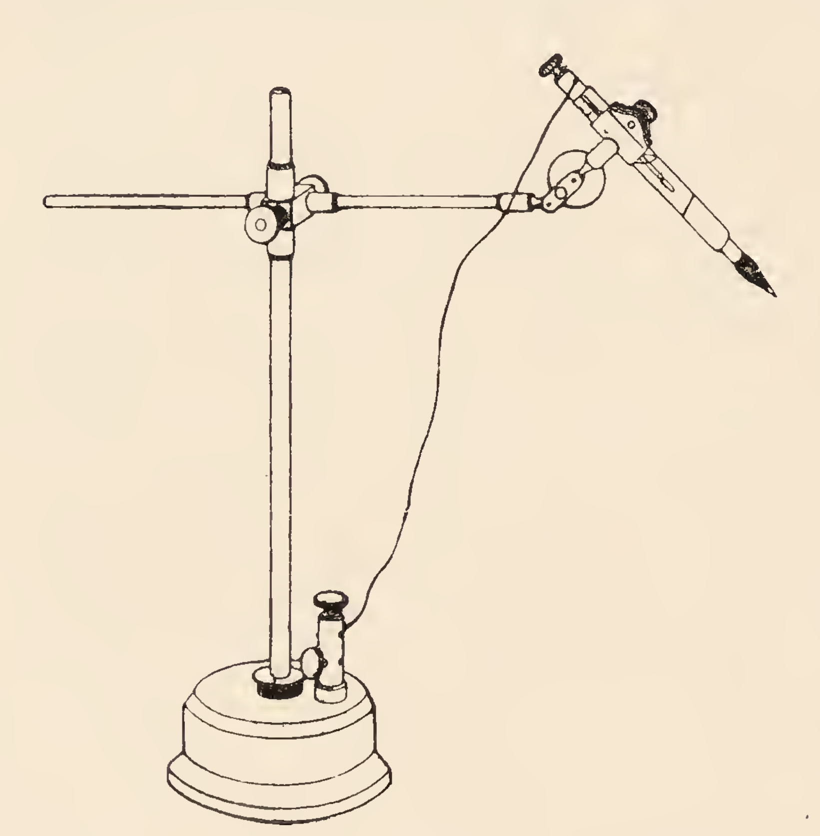


Fig. 132. Unpolarisierbare Pinselelektrode. Stativ, in dem rechts oben die Glasröhre mit Pinsel gelenkig angebracht ist. Die Zinkstange der Elektrode ist durch einen Draht mit der am Fuße des Stativs befindlichen Klemmschraube verbunden.

Pohlsche Wippe (Stromwender, Kommutator). Um die Richtung eines Stromes im Stromkreise in einfacher und schneller Weise umkehren zu können, benutzt man die POHLsche Wippe (Fig. 133). Der Apparat besteht aus einer dicken Holzplatte, die am Rande sechs kleine Quecksilbernäpfchen und mit diesen leitend verbunden sechs Klemmschrauben trägt. Zwei Paare gegenüberliegender Quecksilbernäpfchen stehen durch zwei gekreuzte, aber sich nicht berührende Metallstangen übers Kreuz miteinander in leitender Verbindung. Die beiden übrigen einander gerade gegenüberliegenden Quecksilbernäpfchen tragen einen Bügel, der aus zwei durch ein isolierendes Mittelstück miteinander zusammenhängenden Hälften aus Metall besteht und wie eine Schaukel beweglich ist, so daß abwechselnd das eine und das andere Ende des gebogenen Teils einer jeden Bügelhälfte in das eine oder das andere Paar von Quecksilbernäpfchen eingetaucht werden kann. Bei der einen Stellung des Bügels (Fig. 133 A) tritt der Strom in der einen Richtung, bei der anderen (Fig. 133 B) infolge der Kreuzung der beiden Metallstangen in der entgegengesetzten Richtung aus der Wippe heraus. Die Wippe wird so in den Stromkreis eingeschaltet, daß von der Stromquelle her die beiden Poldrähte zu den Klemmschrauben geführt werden, die in der

Richtung des geraden Bügelmittelstückes einander gegenüberstehen, während die ableitenden Drähte von zwei nebeneinander gelegenen Klemmschrauben zu den Elektroden des Präparates führen. Auf diese Weise kann das Präparat durch einfaches Umlegen des Wippenbügels bald in der einen, bald in der anderen Richtung durchströmt werden.

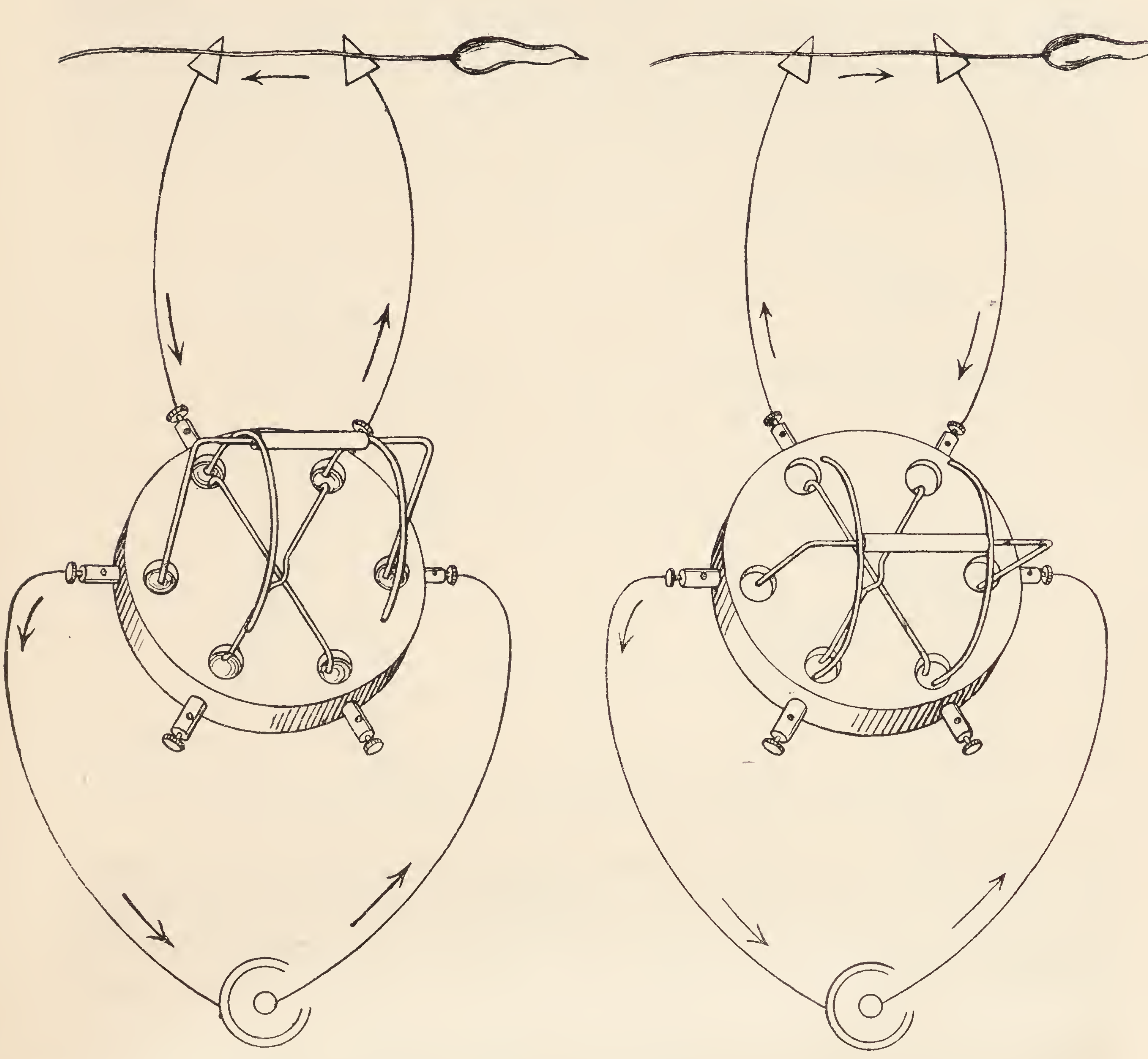


Fig. 133. POHLsche Wippe (Kommutator) in den beiden verschiedenen Stellungen des Wippenbügels. Die Pfeile geben die Stromrichtung an vom Element durch die Wippe und das Präparat zum Element zurück.

Prinzip der Nebenschließung, Vorreiberschlüssel, Rheochord. Um die Intensität eines Stromes, der durch ein Präparat hindurchgeht, ohne Veränderung der Stromquelle variieren zu können, benutzt man das Prinzip der Nebenschließung. Nach dem OHMschen Gesetz ist die Intensität I in einem Stromkreise proportional der elektromotorischen Kraft E und umgekehrt proportional den Widerständen W, also $I = \frac{E}{W}$. Die elektromotorische Kraft ist durch

die Stromquelle gegeben, die Widerstände liegen teils in der Stromquelle, z. B. im Element (innere Widerstände), teils in der äußeren Leitung des Stromkreises (äußere Widerstände). Die ersteren sind bei gleichbleibender Stromquelle die gleichen, die letzteren sind verschieden je nach der Art der Leitung. Metalle sind gute Leiter; feuchte Leiter, wie alle lebendigen Objekte, sind schlechte Leiter und geben große Widerstände. Die Widerstände in einem Metalldraht sind ferner abhängig außer von der Art des Metalls vor allem von der Länge und dem Querschnitt des Drahtes. Sie sind proportional der Länge und umgekehrt proportional dem Querschnitt des Drahtes.

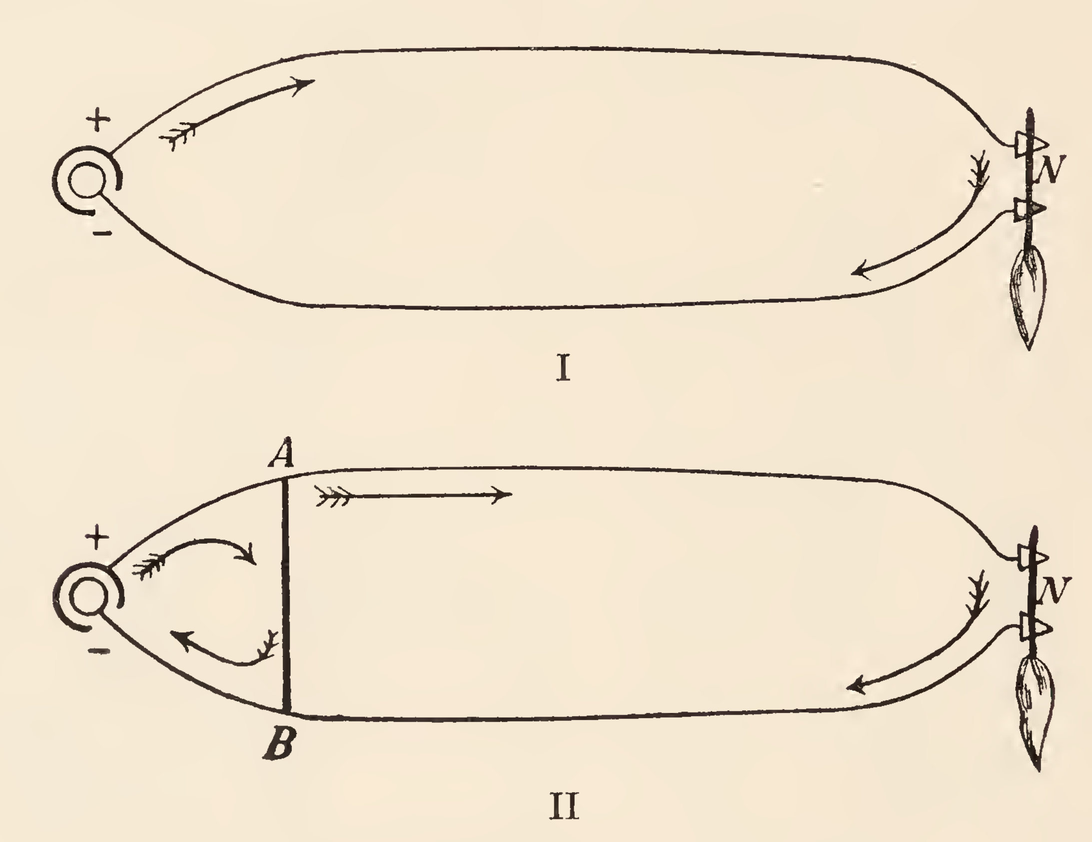


Fig. 134. Prinzip der Nebenschließung. I Stromkreis ohne Nebenschließung. *N* Nervmuskelpräparat. II Stromkreis mit Nebenschließung *A B*.

Hat man daher z. B. einen Strom, der von einem Element aus durch zwei längere an ihren Enden mit Elektroden verbundene Metalldrähte den über die Elektroden gelegten Nerven eines Nervmuskelpräparates durchströmt (Fig. 134 I), so wird bei Schließung dieses Stromkreises das Nervmuskelpräparat gereizt werden, der Muskel wird zucken. Verbindet man aber nun die beiden Metalldrähte durch ein queres Drahtstück (Fig. 134 II, *A*, *B*) miteinander, so entsteht eine Nebenschließung in dem Stromkreise, d. h. außer dem großen ursprünglichen Stromkreise ist jetzt noch ein kleinerer Stromkreis vorhanden. Da der erstere in dem feuchten Leiter des Präparates und in den langen Drähten einen großen Widerstand enthält und da andererseits der letztere durch seine kürzere und lediglich metallische Leitung einen sehr geringen Widerstand besitzt, so wird nach dem OHMschen Gesetz eine Stromverteilung eintreten derart, daß der bei weitem größte Anteil des Stromes in dem kleinen Kreise der Nebenschließung und nur ein verschwindend geringer Teil des Stromes in dem Präparatkreise

zirkuliert. Bei der Schließung des Stromes bleibt daher jetzt das Präparat in Ruhe. Eine kleine Vorrichtung, die durch bequeme Einschaltung einer Nebenschließung den Reizstrom von einem Präparate so weit absperrt, daß das Präparat nicht erregt wird, ist im DU BOIS-REYMONDschen Vorreiberschlüssel gegeben. Der Vorreiberschlüssel besteht aus zwei auf einer Hartgummiplatte isoliert befestigten und mit je zwei Klemmschrauben versehenen Metallklötzchen, die durch einen Hebel miteinander in metallisch leitende Verbindung gebracht werden können (Fig. 135). Der Schlüssel wird in einen Stromkreis

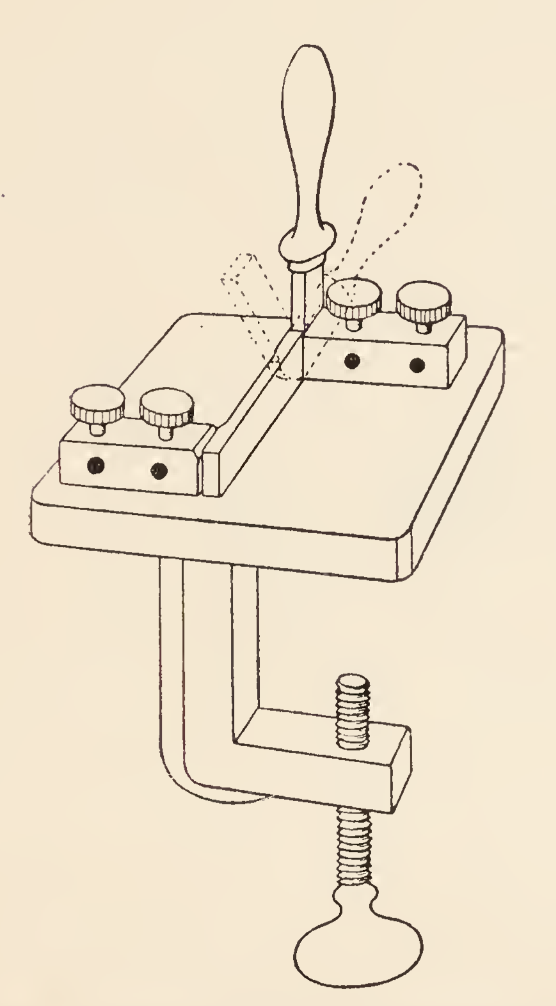


Fig. 135. DU BOIS-REYMONDS Vorreiberschlüssel mit den beiden verschiedenen Hebelstellungen. Die untere Schraube dient zur Befestigung an der Tischplatte. $^1/_2$ natürl. Größe.

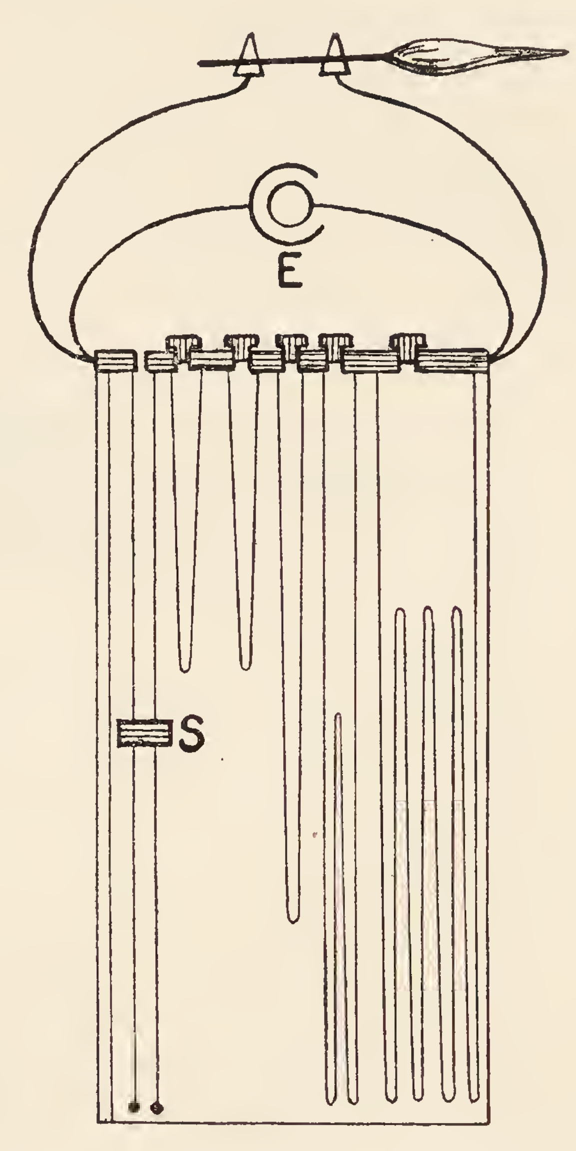


Fig 136. DU BOIS-REYMONDS Rheochord, *E* Element, *S* Schieber.

so eingeschaltet, daß von der Stromquelle her je ein Poldraht zu einem Klotz und von je einem Klotz ein zweiter Draht zu je einer Elektrode am Präparat geleitet wird. Ist der Hebel hochgehoben, so geht der ganze Strom durch das Präparat, ist der Hebel herabgedrückt, so verbindet er die beiden Metallklötze zu einer Nebenschließung, so daß nur ein ganz verschwindender Anteil des Stromes durch das Präparat geht. Hat man nun eine Einrichtung, um in die Nebenschließung abstufbare Widerstände einzuschalten, so kann man damit den Anteil des Stromes, der durch die Nebenschließung geht, immer mehr verkleinern und dafür den Anteil, der durch das Präparat geht, vergrößern, so daß er mehr und mehr wirksam wird. Eine solche Ein-

richtung zur Herstellung abstufbarer Widerstände in einer Nebenschließung ist das DU BOIS-REYMONDsche Rheochord (Fig. 136). Das Rheochord ist ein langer Holzkasten, auf dem eine Reihe von Messingklötzen nebeneinander so befestigt sind, daß sie durch Zwischenfügung von Messingstöpseln zu einer metallisch zusammenhängenden dicken Messingleiste verbunden und durch Herausnahme der Stöpsel wieder in einzelne sich nicht berührende Klötze getrennt werden können. Je zwei benachbarte Klötze sind aber durch einen dünnen Platin- oder Neusilberdraht von ganz bestimmter Länge miteinander verbunden. Geht daher durch die Messingklötze bei herausgenommenen Stöpseln ein Strom, so muß derselbe um so mehr Drähte passieren, je mehr Stöpsel herausgenommen sind, d. h. es werden durch das Herausnehmen der Stöpsel starke Widerstände in den Stromkreis eingeschaltet. Sind alle Stöpsel eingeschaltet, so bietet die zusammenhängende Messingleiste einen sehr geringen Widerstand, da jetzt der Strom direkt von einem Klotz zum anderen gehen kann. Der Draht, der die beiden ersten Messingklötze miteinander verbindet, trägt ferner einen metallischen Schieber (*S*), der ganz nahe an die beiden Klötze herangerückt werden kann, so daß er die beiden Klötze direkt verbindet, der aber einer an der Seite angebrachten Skala gemäß millimeterweise von den Klötzen entfernt werden kann, so daß dementsprechend eine immer größere Drahtstrecke und damit ein außerordentlich fein abstufbarer Widerstand zwischen die beiden ersten Messingklötze eingeschaltet wird. Das Rheochord wird nun als Nebenschließung in einen Präparatkreis eingeschaltet, wenn man die Reizintensität, die das Präparat trifft, immer mehr und mehr steigern will. Die Schaltung ergibt sich aus der nebenstehenden Fig. 136. Zunächst benutzt man das Rheochord so, daß alle Stöpsel eingeschaltet sind und der Schieber an die Klötze fest angeschoben ist. Dann geht nahezu kein Strom durch das Präparat, sondern fast der ganze Strom kreist in dem kleinen Kreis der Rheochordleiste. Rückt man nun den Schieber von den Klötzen weiter und weiter ab, so wächst der Anteil des Stromes, der durch das Präparat geht, in dem Maße, wie der durch das Rheochord gehende Teil abnimmt. Bei einem gewissen Abstande wird man bei Schließung des Stromkreises bereits eine Reaktion des Präparates erhalten. Man kann schließlich den Präparatstrom immer mehr steigern, indem man einen Stöpsel nach dem andern aus dem Rheochord entfernt. So hat man im Rheochord ein Mittel, die Reizintensität in einem Präparatkreise in feinster Weise abzustufen.

Schlitteninduktorium. Für die Herstellung einzelner kurzdauernder rhythmisch intermittierender Reize benutzt man Induktions-

ströme, und zwar im wesentlichen Elektroinduktion (über die Gesetze der Induktionsströme siehe oben p. 152). Der Apparat, der ganz allgemein zur Reizung mit Induktionsströmen dient, ist das DU BOIS-REYMONDsche Schlitteninduktorium (Fig. 137). Am Schlitteninduktorium sind eigentlich zwei Apparate vereinigt: einerseits die Induktionsvorrichtung, bestehend aus dem Schlitten mit primärer und sekundärer Spirale, und andererseits der NEEFsche oder WAGNERsche Hammer zur rhythmischen Unterbrechung des primären Stromes. Soll der Apparat für die Herstellung von Einzelinduktionsschlägen benutzt werden, so verwendet man nur die Induktionsvorrichtung (Schema Fig. 138). Zu diesem Zweck verbindet man ein galvanisches Element (*E*) durch einen Quecksilberschlüssel (*Q*) mit der primären Spirale (*P*), indem man die Poldrähte an den o b e r e n Klemmschrauben befestigt, die direkt mit den Drahtenden der primären Spirale in Verbindung

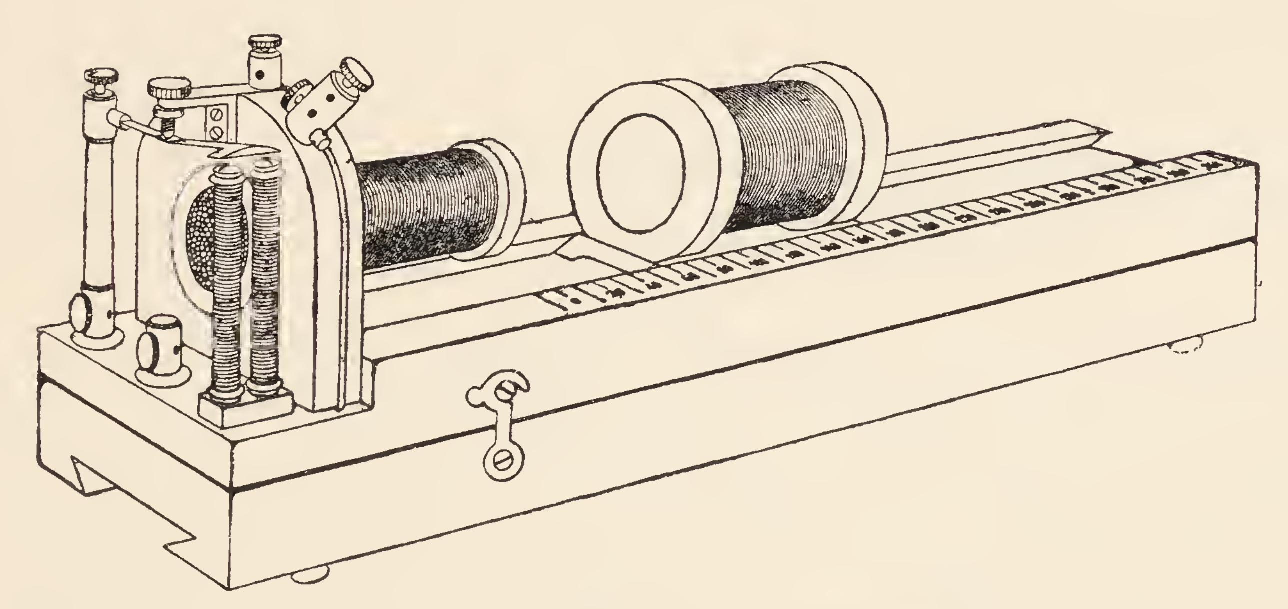


Fig. 137. DU BOIS-REYMONDsches Schlitteninduktorium.

stehen. Von den Klemmschrauben der sekundären Spirale (*S*) leitet man Drähte zu den Elektroden, die zur Reizung dienen. Die Schlittenbahn ist mit einer Millimeterskala versehen und kann durch Umklappen noch verlängert werden. Je nachdem man schwächere oder stärkere Induktionsschläge haben will, rückt man den Schlitten (sekundäre Spirale) weiter von der primären Spirale fort oder näher an sie heran. Bei jeder Schließung und Öffnung des primären Stromes entsteht ein entsprechender Schließungs- oder Öffnungsinduktionsschlag in der sekundären Spirale, der bei der Schließung dem primären Strome entgegengesetzt, bei der Öffnung gleich gerichtet ist. Infolge des Extrastromes, den der primäre Strom in den Windungen seiner eigenen Spirale induziert (siehe oben p. 152), ist der Induktionsschließungsschlag weniger wirksam als der Induktionsöffnungsschlag. Soll der Apparat zur rhythmisch intermittierenden Reizung benutzt werden, so befestigt man die Poldrähte an den u n t e r e n Klemmschrauben. Dadurch wird in den primären Stromkreis der NEEFsche Hammer eingeschaltet, der

zur rhythmischen Unterbrechung des primären Stromes dient. Das Prinzip des NEEFschen Hammers ergibt sich aus dem untenstehenden Schema (Fig. 139). Von einem Element geht der Strom zu einem hohen Messingpfeiler, der oben eine Stahlfeder mit einem kleinen Eisenklötzchen an ihrem freien Ende trägt. Die Messingfeder steht in ihrer Mitte oben mit einer Stellschraube in Berührung, mit der das eine Drahtende der primären Spirale verbunden ist. Der Strom geht also von dem Messingpfeiler durch die Feder und Stellschraube

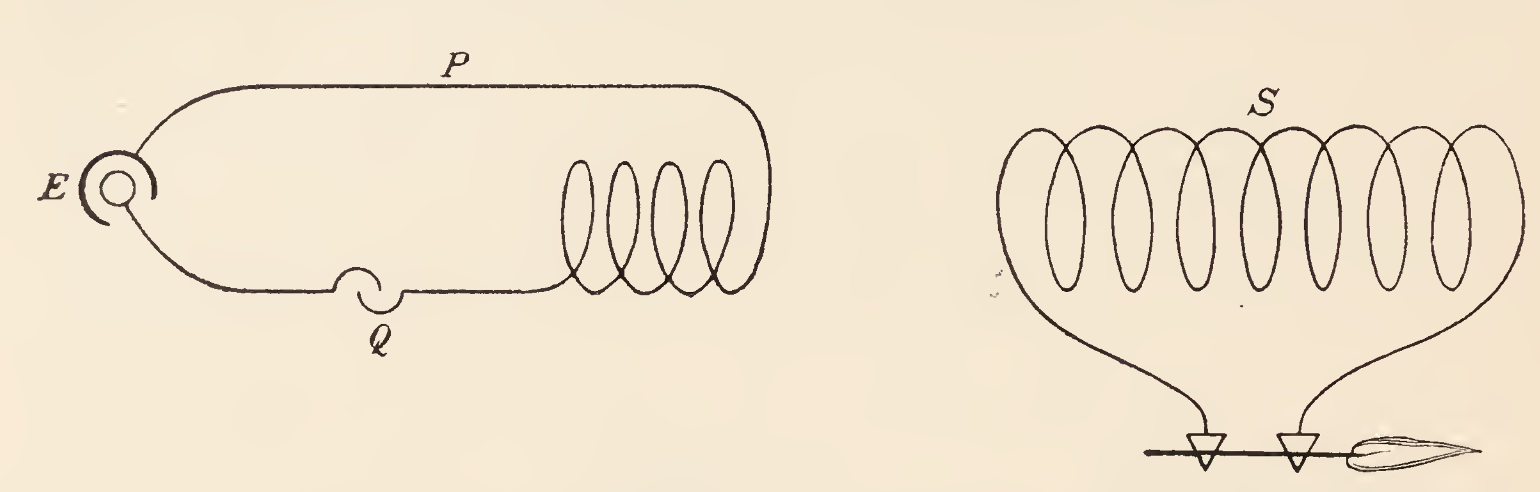


Fig. 138. Schema der Elektroinduktion. *E* Element, *P* primäre Spirale, *Q* Quecksilberschlüssel, *S* sekundäre Spirale mit Elektroden, über die ein Nervmuskelpräparat gelegt ist.

zur primären Spirale, durch diese hindurch und verläuft von hier durch das andere Drahtende der primären Spirale um einen weichen Eisenstab in zahlreichen Drahtwindungen herum, von wo er durch eine Drahtverbindung zur zweiten unteren Klemmschraube und weiter zum Element zurückkehrt. Im Moment, wo der primäre Stromkreis geschlossen wird, wird der weiche Eisenstab magnetisch und zieht die Feder herab, so daß ihr Kontakt mit der Stellschraube unterbrochen wird. Dadurch ist auch gleichzeitig der primäre Strom unterbrochen, das weiche Eisen wird wieder unmagnetisch, die Feder schnellt wieder in die Höhe, stellt den Kontakt mit der Stellschraube wieder her und der Strom ist von neuem geschlossen. Auf diese Weise schließt und öffnet sich der primäre Strom durch das rhythmische Spiel des NEEFschen Hammers andauernd automatisch. Bei jeder Schließung und Öffnung entsteht in der sekundären Spirale ein entsprechender Induktionsschlag

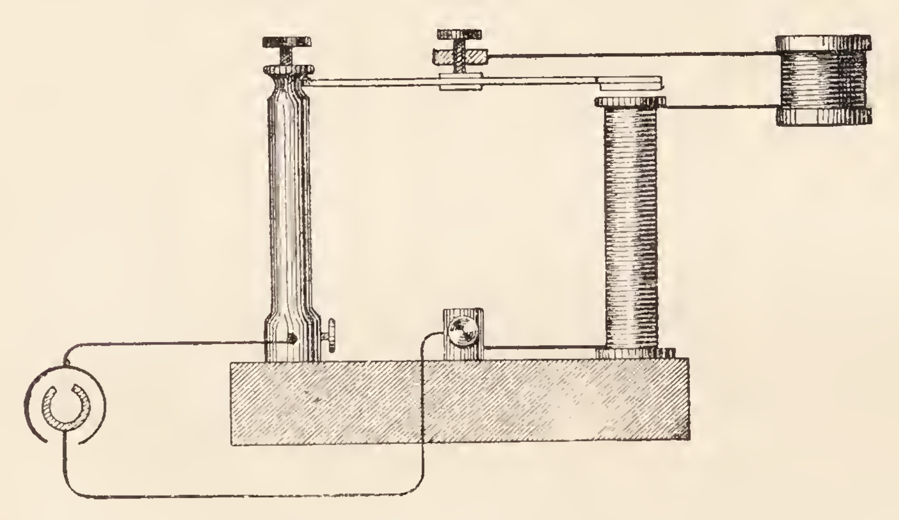


Fig. 139. Schema des NEEFschen Hammers. Links Element, das durch einen Draht mit dem hohen Messingpfeiler verbunden ist, der die Feder trägt. Über der Feder befindet sich die Stellschraube, von der ein Draht zur primären Spirale (rechts oben) und weiterhin um den weichen Eisenstab herumgeht.

Despretzsches Schreibsignal. Will man bei der graphischen Verzeichnung irgendeines Vorganges (Atmung, Blutdruckschwankungen usw.) die Wirkungen von Nervenreizungen studieren und gleichzeitig die Reizdauer selbst graphisch mit aufzeichnen, so kann man dazu das DESPRETZsche Signal, das in mannigfachen Modifikationen konstruiert ist, benutzen. Sehr einfach und zweckmäßig ist die EXNERsche Form desselben (Fig. 140). An einem Stativ befindet sich horizontal ein walzenförmiges Stück weichen Eisens (*M*), das mit einem Draht umwickelt ist. Die Enden des letzteren gehen zu zwei auf einer kleinen Hartgummiplatte montierten Klemmschrauben, durch die der Apparat

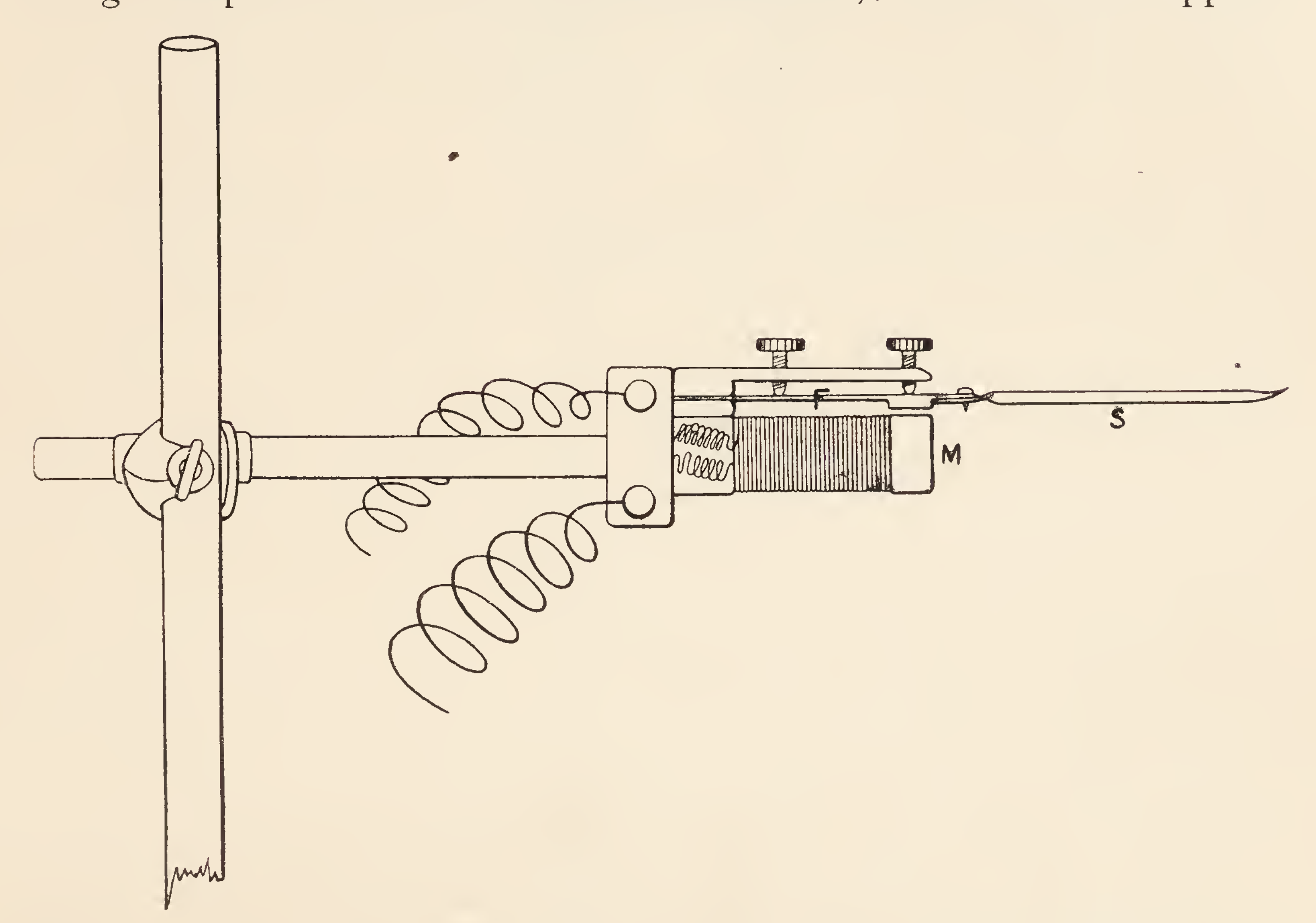


Fig. 140. DESPRETZsches Signal (EXNERsche Form). *M* drahtumwickeltes Eisenstück, das magnetisch wird beim Stromdurchgange durch den Draht, *F* Feder, *S* Schreibspitze. Das Ganze ist an einem Stativ befestigt, von dem hier nur das obere Ende abgebildet ist.

in den primären Stromkreis eines Schlitteninduktoriums eingeschaltet werden kann. Über dem Eisenstück ist eine Feder (*F*) mit einer kleinen Hammerplatte und einer Schreibspitze (*S*) angebracht, die bei jedem galvanischen Strom, der um das Eisen herumgeht, von dem magnetisch werdenden Eisenstück angezogen wird und gleich darauf infolge ihrer Federkraft wieder zurückschnellt, sobald der Magnetismus verschwindet. Da das Eisen in demselben Rhythmus magnetisch und wieder unmagnetisch wird, in dem die primären Ströme herumgehen, so schwingt die Schreibspitze genau im Rhythmus der Reize mit. Im Moment, wo die Reizung beginnt und aufhört, beginnt und hört auch die Bewegung der Schreibspitze auf. Durch die beiden

über der Feder befindlichen Stellschrauben kann die Exkursionsweite der Schreibhebelspitze innerhalb gewisser Grenzen variiert werden. Man benutzt nun den Apparat derart, daß man ihn nach seiner Ein-

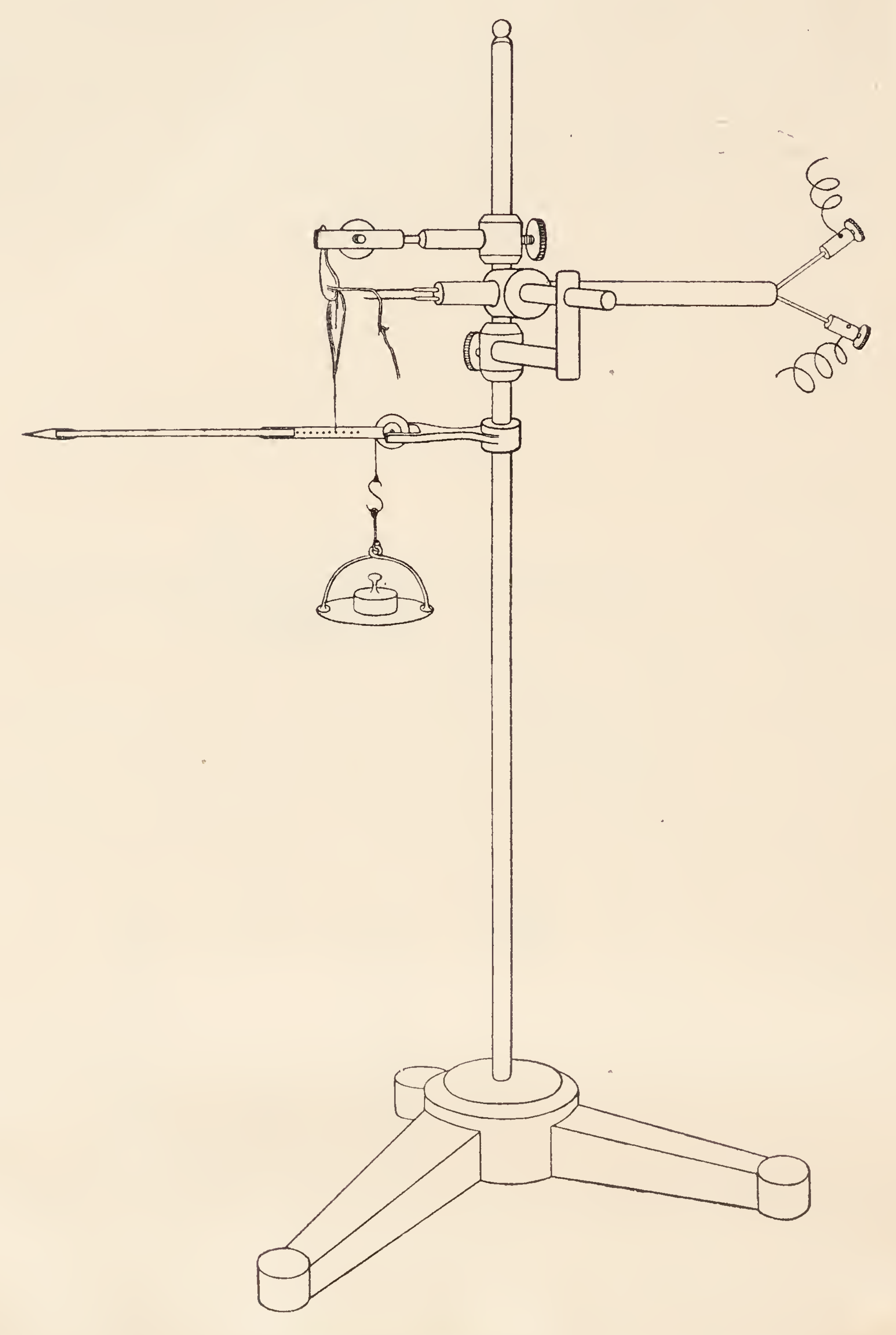


Fig. 141. Stativ mit Muskelhalter (oben), Elektrodenhalter (Mitte) und Schreibhebel (unten).

schaltung in den primären Reizstromkreis mit seinem Stativ an die Schreibfläche anrückt und seine Schreibfläche genau senkrecht unterhalb und in entsprechendem Abstand von der Schreibhebelspitze des Atem- oder Blutdruckschreibers an die Schreibfläche anlegt.

Muskelhalter und Muskelschreiber. Zur Befestigung eines Nervmuskelpräparates dient ein einfacher Muskelhalter, der aus einem Stativ besteht, das seitlich einen horizontalen Arm mit Klemme zum Einklemmen des Femurs trägt (Fig. 141, oberster Teil). Zweckmäßigerweise kann man den Schreibhebel gleich an demselben Stativ anbringen (Fig. 141, unterster Arm des Stativs), und wenn man will, auch noch eine Muffe, in der man die Platininelektroden befestigt (Fig. 141, mittlerer Teil). Für längere Versuchsreihen, bei denen die Gefahr besteht, daß der Nerv vertrocknen könnte, verwendet man die oben p. 163 beschriebene Einrichtung mit einer überstülpbaren Glaskammer. Diese in Cambridge gebräuchliche feuchte Kammer schützt das Präparat auf längere Zeit vor dem Eintrocknen.

Kurvenfixierbad. Um die mittels der graphischen Methode gewonnenen Kurven dauernd haltbar und für spätere Untersuchungen, Ausmessungen, Publikationen usw. brauchbar zu machen, muß man sie fixieren. Das geschieht, indem man sie mit einer Lösung von Schellack in absolutem Alkohol sorgfältig tränkt und dann trocknen läßt. Zu diesem Zwecke existieren für die verschiedenen Größen von Kymographiontrommeln passende Wannen mit Stativ. Nachdem man die Wanne mit der Schellacklösung gefüllt hat, legt man die Trommel mit der frischen Kurve vorsichtig horizontal mit ihrer Achsenstange auf das Stativ und dreht die Trommel langsam mehrere Male durch die Schellacklösung hindurch, bis das Papier gründlich mit der Lösung durchtränkt ist. Dann schneidet man, während die Trommel noch auf dem Stativ liegt, mit einer Messerspitze das Papier längs der Klebelinie auf der Trommel durch, so daß es sich von der Trommel abheben läßt, und hängt es an einem horizontalen Holzrahmen über einer den Tisch oder Boden schützenden Pappunterlage senkrecht zum Trocknen auf. Nach 1—2 Stunden ist gewöhnlich die Kurve vollständig trocken und kann nun verwendet werden.

Index.

B.

C.

D.

E.

F.

G.

H.

I.

J.

K.

L.

M.

P.

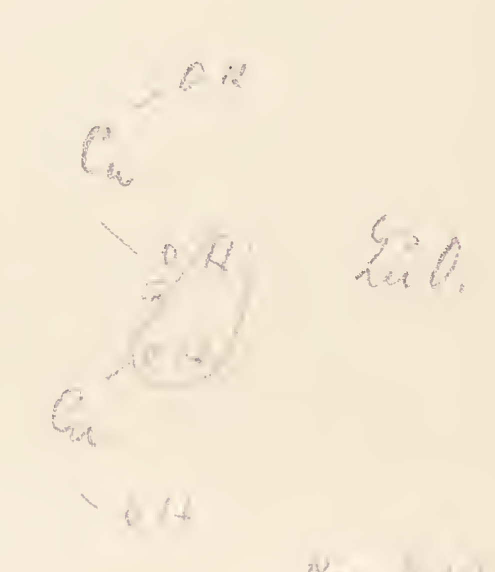
Q.

R.

S.

V.

W.





Druck von Ant. Kämpfe in Jena.



